HOLOGRAFIE

H. ARTHUR KLEIN

INTRODUCEREA STIINTEI MODERNE

HOLOGRAFIE de H. ARTHUR KLEIN

Ilustrateci cu diagrame si fotografii

Holografie – un cuvânt strânge care descrie un proces optic și mai ciudat. Cuvântul înseamnă „imagine întreagă”, iar procesul creează un fel curios de „fotografie înghețată” – o hologramă – realizată fără lentile (sau cu lentile doar ca ajutor, mai degrabă decât elemente esențiale).

Când holograma este plasată într-un fascicul de lumină laser și se află la un anumit unghi, apare o fereastră magică. Imaginea este văzută în trei dimensiuni cu relații și schimbări de perspectivă și spațiu, așa cum există în realitate. Pe măsură ce observatorul își schimbă punctul de vedere, obiectele din hologramă sunt văzute deplasându-se unele față de altele.

Hologramele nu se aseamănă cu nicio fotografie sau imagine văzută vreodată. Unele arată ca amestecuri confuze de granule sau pete albe și negre, zonele luminoase transparente, zonele întunecate aproape opace. Altele sunt destul de clare și fără zone întunecate vizibile. Ar putea fi doar foi de sticlă transparentă sau plastic. Cu toate acestea, toate hologramele, atunci când sunt plasate la unghiul corect într-un fascicul de lumină laser, arată dintr-o dată mai multe imagini realiste decât a capturat vreo fotografie.

Aceste bucăți incredibil de „împodobite” de plăci și filme fotografice pot analiza vibrațiile, fluctuațiile,

(continuați! pe clapeta din spate)

1200

Imprimare Fourtli

6,95 USD

HOLOGRAFIE

Bv H. Arthur Klein

Oceane și continente în mișcare Surf-Riding

Noile masere și lasere gravitaționale Pile de combustibil cu bioluminiscență care navighează în Lumile Graphie ale lui Peter Bruegel Eiderul

De H. Arthur Klein și Mina C. Klein

Max și Moritz Helena ipocrită a făcut surf! (O antologie de surfing)

Marile structuri ale lumii Peter Bruegel Eiderul, artistul templului abundenței dincolo de timp: povestea locului templului lui Solomon din Ierusalim

Prezentarea științei moderne

HOLOGRAFIE

Cu o introducere în optica difracției, interferenței și diferențelor de fază.

H. ARTHUR KLEIN

Compania JB Lippincott, Philadelphia și New York

A murit adolescenților care (întreboară Dennis Gabor și Albert Einstein bej sau e hirrì) pun la îndoială, și apoi continuă să corecteze, ceea ce bătrânii lor în știință au acceptat ca evanghelie veșnică.

ISBN -0-397-31122-2

 Tipărit în Biblioteca Congresului din Statele Unite ale Americii Numărul cardului de catalog 77-117232 A patra tipărire Text Design de Plasencia Design Associates, Ine., New York

Introducere și mulțumiri

Această carte este, în multe privințe, o extensie sau o secvență a maserelor și laserelor anterioare ale autorului, deoarece holografia modernă depinde atât de complet de lumina coerentă încât numai laserele o pot emite.

Cu toate acestea, o abordare cu totul diferită prevalează în paginile următoare, pentru că holografia este cel mai bine înțeleasă în termeni de lumină ca formă de mișcare ondulatorie; în timp ce procesele fizice care fac posibile laserele sunt cel mai bine concepute în termeni de lumină ca pachete minuscule de energie, sau fotoni, emiși sau absorbiți de atomi.

Nu există însă nicio contradicție. De fapt, unul dintre cei mai fermi stâlpi ai științei moderne este această corespondență între două aparente opuse: unda în mișcare, pe de o parte, și partea zburătoare, pe de altă parte. Câteva dintre capitolele acestei cărți ar trebui să dobândească un plus de sens atunci când sunt citite împreună cu volumul Maseri și Lasere sau cu puțin timp înainte de acesta.



Realizarea acestei cărți a fost, la figurat vorbind, ca realizarea unei holograme. Acesta din urmă se formează atunci când un referencé interacționează cu o undă obiect care vine din scena însăși. În mod

similar, efectele multor lucrări de referință asupra opticii au interacționat, pentru autor, cu ajutorul valoros din partea mai multor lideri activi în scena holografiei în sine. Acest ajutor a venit prin conversații, corespondență și împărtășirea generoasă a multor materiale recente, atât scrise, cât și picturale.

Pentru orice astfel de ajutor în holografie, autorul dorește să transmită mulțumiri coerente, cu adevărat tridimensionale în profunzime, deși îndreptate fără titluri de academie și doctorat, către...

Dennis Gabor, care și-a dorit binele acestui efort „de a face lumina coerentă ușor de înțeles pentru tinerii cititori” și a reamintit că, la urma urmei, „lumina incoerentă este mult mai greu de înțeles”.

Gordon L. Rogers, Departamentul de Fizică, Universitatea din Aston, Birmingham, Anglia; Emmett N. Leith și Juris Upat-neiks, de la Institutul de Știință și Tehnologie, Universitatea din Michigan.

Ralph M. Wuerker, TRW Systems Group, Redondo Beach, California; Arthur L. Schawlow, Departamentul de Fizică, Universitatea Stanford; JM Burch, Divizia de Metrologie Optică, Laboratorul Național de Fizică, Teddington, Anglia.

Gerald Oster, Departamentul de Biochimie, Mt. Sinai School of Medicine, New York City; Henry F. Sander, Secretar Executiv, Societatea Inginerilor Foto-optici și de Instrumentare (SPIE); și Winston E. Kock, Bendix Corp., Detroit, Michigan.

Pentru diverse politețe, picturale și de altă natură, mulțumim și lui LJ Murray, CBS Laboratories, Stamford, Connecticut; DJ Alpaugh, Bell Téléphoné Laboratories, Murray Hill, NJ; BC Burdick, Eastman Kodak Co., Rochester, NY; UA Phillips, Metallog-raphy & Ceramics Laboratory, GE Co., Schenectady, NY

La fel și lui Eugene Rodgers, Westinghouse Research Laboratories, Pittsburgh, Pa.; și LS Stone, GC Optronics, Inc., Ann Arbor, Michigan.

Mulțumiri recunoscătoare se adresează, de asemenea, mai multor biblioteci ale căror facilități au fost folosite: cea a UCLA; cea a Institutului de Tehnologie din California, Pasadena; și Biblioteca Județeană Los Angeles, mai ales prin intermediul dinamicului său Bookmobile!

Generoși, cu facilități excelente de referință și ospitalitate, erau doi vecini buni de sus: Edward Reese, manager de informații tehnice și Wally Pegram, bibliotecar, la Laboratorul de Cercetare Hughes, Malibu.

Și lui Mina C. Klein, mulțumesc pentru ajutor care a fost holo în sensul original grecesc al întregului, complet și fără omisiune.

— H. Arthur Klein

Malibu, California, 1970

CUPRINS

I O artă a realizărilor extraordinare și chiar mai mari

Promisiunea 8

2 Huygens propune un principiu, iar Grimaldi descoperă diferențe.

fracția 24

3 Interferență, coerență și regula reversibilității38

4 Prezentarea „a New Microscopie Principie”51

5 O eră a explicaţiilor şi explorărilor64

6 Asistență laterală: de la radar cohérent la holografia modem 79

7 Adăugarea difuziei: confuzia la bun efect91

8 Instrumente, încercări, trucuri și tehnici de holografie modem 105

9 holograme care opresc mișcarea – și cele care detectează și

Măsoară-l 124

10 coduri holografice, chei și alte curiozități150

II Holograme pe care nu le poți vedea și cele prin care nu se poate vedea 166 12 Referitor la hologramele colorate – și alte concluzii

siderații 176

Indexul 187

capitolul I

O artă a realizărilor extraordinare și a unei promisiuni și mai mari

Holografia este strânge ñame dat unei arte și tehnici străine care lucrează astăzi în laboratoare și centre de cercetare. Sursa sa unică este holograma, un tip curios de fotografie „înghețată”, realizată fără lentile sau cu lentile doar ca ajutor, mai degrabă decât elemente esențiale.

Hologramele nu seamănă cu nicio fotografie sau imagine văzută vreodată înainte și funcționează ca nicio fotografie înainte de ele. Ele arată ca amestecuri confuze de granule sau pete albe și negre, zonele luminoase transparente, opace întunecate sau aproape. Unele holograme ar putea fi confundate cu fotografii negative care au fost distruse de apă sau de un alt solvent puternic.

Alte holograme sunt destul de clare și lipsite de zonele întunecate. Ar putea fi doar foi transparente de sticlă sau plastic. Cu toate acestea, toate hologramele, când sunt plasate la unghiul corect într-un fascicul

de lumină laser, arată dintr-o dată imagini, ca și cum ar fi ferestre magice.

Acolo, dincolo de hologramă, se află un obiect, un grup sau o scenă întreagă, așa cum nu poate fi nicio imagine creată de fotografii obișnuite. Este reală mai presus de orice, deoarece pe măsură ce observatorul își schimbă pe a lui

Extraordinar}) Realizări și promisiune mai mare

din punct de vedere, obiectele din imaginea de hologramă sunt văzute mișcându-se și deplasându-se unul față de celălalt. O hologramă văzută din partea dreaptă poate arăta o casetă care ascunde o lumină mică. Văzut din centru, poate arăta atât lumina, cât și cutia. Și văzut din stânga poate arăta o altă casetă în fața luminii.

Imaginile tuturor obiectelor din scenă se comportă exact așa cum ar fi originalul lor, dacă ar sta de fapt acolo unde par.

O altă hologramă arată o ceașcă. Privit prin partea inferioară a hologramei, doar exteriorul cupei este vizibil, dar privind în partea de sus a hologramei vedem în cupă, chiar în partea de jos.

Mascăm o hologramă, permițând luminii laser să treacă printr-o mică parte din ea. Cu toate acestea, chiar și din acea parte, vedem imaginea întregii scene, deși ceva mai puțin detaliată decât înainte. Stili o altă hologramă, văzută cu ajutorul unui microscop, arată adâncime după adâncime și nivel după nivel într-un volum mic de apă, pe măsură ce focalizarea instrumentului este deplasată.

Alte holograme sunt realizate prin expunerea de două ori la același obiect, care suferă unele schimbări de tensiune sau temperatură între expuneri. Imaginea rezultată arată benzi strânse întunecate curbate pe obiect, dezvăluind micile deformări pe care le-a suferit. Alte holograme dezvăluie pentru totdeauna cele mai profunde secrete ale vibrațiilor, fluctuațiilor, arderilor, exploziilor și altor evenimente fizice, prea rapide, energice sau violente pentru a fi analizate altfel.

Anumite holograme pot fi iluminate succesiv din diverse unghiuri și din fiecare creează un set diferit de imagini, la fel de multidimensionale, la fel de adevărate vieții.

Cum pot aceste bucăți incredibil de „împodobite” de plăci de fotografie și film să recreeze imagini realiste, mișcătoare, obținând o tridimensionalitate neabordată până acum prin intermediul fotografiei?

HOLOGRAFIE

Înapoi la Budapesta din 1917. Știința este făcută de bărbați și femei care reacționează și acționează asupra lumii fizice din jurul lor - bărbați care au fost cândva băieți, femei care au fost cândva fete. Căutarea originilor ideilor pe care holografia le întruchipează duce înapoi cu mai bine de jumătate de secol, la un băiat îndrăgostit de știința fizică și, în special, de căile luminii și a lentilelor. Numele

lui era Dennis Gabor, iar casa lui era la Budapesta, pe atunci parte a Imperiului Austro-Ungar, pentru că anul 1917.

"Și dacă-?" "De ce nu-?" "Dar cum-?" Întrebări cu începuturi atât de sâcâitoare începuseră să treacă prin mintea tânărului Gabor în acel an, în timp ce Primul Război Mondial, brutal și sângeros, se târa spre etapele sale finale.

În timpul școlii sale, Gabor punea la îndoială ce se știa și se făcea atunci despre lumină. Multe dintre cele mai bune minți din știință au ajutat la construirea uriașului corp de cunoștințe și abilități numit optică. Fotografia, în special, veche pe atunci de peste două treimi de secol, a contribuit enorm la toate aspectele opticii.

La baza fotografiei a fost camera, bazată pe lentile sau sisteme de lentile, la fel ca ochiul fiecărui om, animație sau insectă. Lentilele funcționau astfel încât să formeze imagini, să reunească într-un plan, cum ar fi o emulsie de fotografie, sau pe un receptor vizual curbat, ca în ochi, razele de lumină primite de la obiectele văzute.

Acest proces, numit în mod obișnuit „focalizare”, a funcționat în așa fel încât toată lumina captată de lentilă dintr-un anumit punct (A) al obiectului să fie reunită la sau în apropierea unui punct corespunzător (Az) al imaginii.

Imaginea, deci, era practic un model de intensități luminoase organizate la care reacționa emulsia foto sensibilă a camerei – sau țesuturile sensibile ale retinei curbate din partea din spate a ochiului. Acestea au fost reacții fotochimice, păstrate în fotografiile dezvoltate și „fixate” , sau percepute și interpretate de creier la om și animale.

10

Realizări extraordinare și promisiune mai mare

Astfel, prin acțiunea de focalizare a obiectivelor au apărut realizările magnifice ale fotografiei. În 1917, ei începuseră deja să cerceteze cerurile îndepărtate, cu camere care făceau parte din telescoape mari, sau lumea invizibilă a ultra-minusculelor, cu camere conectate la microscoape.

Chiar și în 1917 au existat autorități eminente care au susținut că astfel de lentile de focalizare și sisteme de lentile se apropiau deja în performanță de limitele a ceea ce puteau realiza vreodată. Cu toate acestea, tânărul Dennis Gabor nu se putea mulțumi, chiar și cu astfel de asigurări. El știa că cele mai bune emulsii de fotografie erau capabile să înregistreze mult mai multe informații imagistice decât ar putea furniza lentilele cuplate la ele sau ar putea furniza.

Aceste două cuvinte italice sunt de bază pentru motivațiile care au condus mult mai târziu la holografie. Deși sistemele de lentile, din ce în ce mai rafinate și mai sofisticate, apăsau limitele posibilităților lor fizice, nevoia și dorința umană de a vedea mai mult, de a măsura mai mult, de a înțelege mai mult și de a stăpâni mai mult, nu atinsese nicio limită comparabilă.

Dacă toate lentilele ar fi afectate de limitări încorporate, atunci ce? Așa a fost deriva sau direcția căutării mentale îndrăznețe, chiar obscenătoare, care a început pentru Gabor încă din 1917. Chiar și la vârsta de 17 ani, avea niște înțelegeri solide care să-l ajute. El știa că informațiile vizuale sau detaliile pierdute sau neglijate de sistemele de lentile trebuie să fi fost prezente în undele de lumină înainte ca acestea să treacă prima dată prin acele lentile. El știa și că această informație includea câteva caracteristici definibile și măsurabile ale unor astfel de unde:

(1) Lungimile sau frecvențele lor, uneori numite culorile lor.

(2) Intensitățile lor - energiile pe care le-au transportat în fiecare clipă de timp în fiecare unitate de suprafață a spațiului prin care s-au mișcat.

(3) În sfârșit, și nu în ultimul rând, ceva numit faza fiecărei undă luminoasă sau tren de unde.

Sisteme de lentile, fie cele ale camerelor, telescoapelor și microscoapelor create de om, fie ale ochilor oamenilor și animalelor, livrate lor.

emulsii de fotografie sau suprafețe retiniene primele două tipuri de informații (despre culoare și intensitate), dar nu și al treilea (pe fază).

Tânărul Gabor știa, de asemenea, că lumina, ca și alte forme ale mișcărilor ondulatorii care abundă în jurul nostru, în fiecare punct al progresului ei a regenerat și a transmis faza, precum și frecvența (culoarea) și intensitatea cu care și-a început rapiditatea. călătorie.

Henee a concluzionat că între fiecare obiect fotografiat sau văzut și sistemul de lentile care și-a focalizat lumina, trebuie să existe trei tipuri de informații. Și că, într-o formă sau alta, fiecare dintre cele trei tipuri de informații trebuie să existe și între cristalin și emulsie sau retina destinată să o primească.

Totuși, cum ar putea fi recuperate informațiile pierdute? Cum s-a inregistrat? Ar putea fi folosit pentru a remedia limitările din ce în ce mai supărătoare ale lentilelor? Și dacă da, prin ce metodă?

Întrebări ca acestea, începute de tânărul Gabor la Budapesta din 1917, au fost doar un început. După aproximativ treizeci de ani, Dennis Gabor a continuat să studieze, să experimenteze, să reflecteze. A lucrat în multe domenii ale opticii. Unele dintre intuițiile pe care le-a dobândit în aceste trei decenii au dus la prima formă modestă a ceea ce noi cunoaștem acum ca „holografie”. (Acea formă o vom vedea în capitolul 4.)

Un alt întrebat devreme - Albert Einstein. Cel al lui Gabor nu este în niciun caz singurul caz în care chibzuirile unui tânăr despre comportamentul luminii au condus la progrese de mare valoare în știință. Un alt caz, mult mai elementar în scopuri și realizări, a fost cel al tânărului Albert Einstein. Hc avea doar 16 ani și era elev într-o școală elvețiană când a devenit obsedat de această problemă auto-pusă: „Dacă un om s-ar putea mișca lângă un fascicul de lumină cu propria sa viteză, cum i-ar apărea undele electromagnetice?”

Până în 1905, după un deceniu de studiu și reflecție neîncetat,

Einstein a dezvoltat un set de primele răspunsuri. Practic, s-au îndepărtat de conceptele care fuseseră acceptate ca fundamentale în știință înainte de acel moment. Aceste răspunsuri ale tânărului Einstein, elaborate într-un sistem consistent, sunt acum cunoscute sub numele de Teoria sa specială a relativității.

Într-adevăr, întrebările neortodoxe ale tinereții au condus la rezultate importante, mai ales în ceea ce privește studiul, atât teoretic, cât și aplicat, al luminii și al familiei sale de unde electromagnetice invizibile.

Natura bidirecțională a luminii. Lumina este într-adevăr de bază pentru înțelegerea noastră a lumii fizice, precum și pentru percepția noastră despre ea. Lumina, în sens restrâns, se referă la acele unde electromagnetice pe care ochii noștri le pot percepe (“vede”), sau cel mult la cele pe care emulsiile de fotografie le pot înregistra.

O mare parte din știința modernă provine din recunoașterea faptului că lumina are o natură duală, sau cel puțin o interpretare dublă. Poate fi privit ca niște pachete minuscule sau particule de energie în continuă mișcare, denumite în mod obișnuit (de la Einstein) fotoni. În această carte tratăm lumina în maniera clasică, ca oscilații electromagnetice sau mișcări ondulatorii de extremă rapiditate și scurtitate.

Toată lumina pe care o pot vedea ochii noștri are frecvențe mai mari de aproximativ 4 X 1014 herți și mai mici de aproximativ 8 x 1014 herți, herțul fiind numele unității științifice care reprezintă o oscilație, sau ciclu, pe secundă. Astfel, cele mai scurte oscilații ale luminii – cele pe care le vedem ca culoare violetă – sunt finalizate fiecare într-un timp de aproximativ 1,3 x 10"15 secunde, ceea ce este un mod oarecum mai ușor de a scrie 1,3/1015 secunde. Cele mai lungi oscilații vizibile - cele pe care le avem vezi ca culoare roșie - nu necesită mai mult de aproximativ de două ori acest interval de timp extrem de scurt.

Ne putem aminti destul de ușor că o singură oscilație completă a luminii ar trebui prelungită de mai mult de o sută de milioane de milioane de ori pentru a ocupa intervalul de o singură secundă.

Dacă alegem să măsurăm distanțele mai degrabă decât timpii, undele luminoase rămân, de asemenea, ultra minuscule conform standardelor oricărui organism viu. Unitatea noastră cea mai convenabilă devine micronul, doar o milioneme de metru (IO-6 m). Cea mai scurtă lumină violetă vizibilă are lungimi de undă care măsoară, în vid, doar aproximativ 0,4 microni fiecare. Cel mai lung roșu vizibil este mai mic de 0,8 microni.

Aceste mărimi ultra-minuscule pentru durata sau perioada undelor luminoase și pentru lungimea sau întinderea lor spațială sunt legate de o altă măsurătoare de bază, dar una uriașă. Este viteza luminii în spațiu, foarte aproape de 300.000 de kilometri pe secundă, sau 3 X 108 m/s.

Această viteză invariabilă este simbolizată de c și, așa cum a arătat Einstein în teoria relativității, trebuie să fie una dintre pietrele de temelie ale oricărei înțelegeri satisfăcătoare a lumii fizice din jurul nostru.

De ce, într-o lucrare despre holografie, ar trebui să subliniem oscilațiile extrem de rapide ale luminii și dimensiunile lor extrem de mici, precum și „limita de viteză” sau viteza constantă cu care se deplasează prin spațiu? Deoarece undele luminoase prezintă un comportament foarte particular în comparație cu alte tipuri comune de mișcare ondulatorie, cum ar fi undele sonore în aer sau lichide sau solide, sau cu undele de suprafață pe apă și alte lichide.

Undele luminoase, din cauza frecvențelor lor mult mai mari și a lungimii mult mai mici, se comportă chiar diferit, atunci când sunt măsurate pe scalele de lungimi ale oamenilor, decât „verișii lor primari”, undele electromagnetice care transmit mesajele noastre de televiziune, radio și radar.

Viteze variabile. Sunetul este mișcare vibrațională în materie. Nu poate exista în vid. În aerul de presiune și temperatură obișnuită, undele sonore se mișcă cu aproximativ 350 m/s. Într-un mediu mult mai dens, cum ar fi apa de mare limpede, viteza lor este de aproximativ patru ori mai mare, 1530 m/s fiind tipică. Și prin departe

chestii mai dense, mai rigide, cum ar fi oțelul dur, se viteză de aproximativ 18 ori mai mult decât în aerul obișnuit.

Cu cât substanța este mai densă și mai dură, putem spune, cu atât viteza sunetului prin ea este mai mare.

Lumina, însă, arată un comportament opus. Își atinge viteza maximă, c, în spațiul gol. În materia transparentă, vibrațiile sale sunt transmise mai încet. În general, cu cât atomii care formează o substanță transparentă sunt mai dens și mai rigid, cu atât vor trece mai încet de-a lungul oscilațiilor luminii.

Prin aerul curat de temperatură și presiune obișnuită, lumina se mișcă doar puțin mai puțin rapid decât prin vid complet. Totuși, acest mic lucru nu este deloc de neglijat, pentru călătoriile ușoare într-o secundă cu aproximativ 100.000 de metri mai departe prin spațiul gol decât prin aer la temperatură și presiune standard.

Întârzierea crește mai mare în materie mai densă. Prin apă limpede la 20 ° C lumina se mișcă într-o secundă cu aproximativ 7,5 x 107 metri mai puțin decât prin spațiul gol. Diferite tipuri de sticlă provoacă, de asemenea, întârzieri mari. Astfel, așa-numita sticlă de coroană transmite lumina la aproximativ trei sferturi din viteza sa obișnuită în spațiu. Cea mai grea sticlă din silex reduce rata la aproximativ două treimi față de cea din spațiu.

Corindonul, numele cu care mineralogiștii rubinul cali, transmite lumina cu aproximativ 57 la sută la fel de rapid ca spațiul. Dar diamantul, cel mai dens pachet cristalin de atomi de carbon, permite luminii să treacă doar cu aproximativ 41% la fel de rapid ca viteza sa în spațiu.

Aceste viteze comparative sunt de cea mai mare importanță în optică. Oamenii de știință le rezumă de obicei prin intermediul unui indicator sau măsură numită indicele de refracție sau indicele de refracție al substanței particulare studiate. Acest indice, strict vorbind, este egal cu viteza luminii prin spațiu, împărțită la viteza luminii prin substanță.

(În practica reală, numărătorul fracției este de obicei

viteza luminii prin aer la temperatură și presiune standard, deoarece este, până la urmă, foarte aproape de cea a spațiului gol.)

Găsim, așa cum era de așteptat, că sticla coroană în care lumina își pierde un sfert din viteza sa în „aer”, are un indice de refracție egal cu patru treimi, sau 1,333. Indicele apei de mare este aproximativ același. Sticla Flint are un indice de refracție de aproximativ 1,5, prezentând o viteză de aproximativ două treimi din cea a lui c. Indicele de refracție al corindonului ajunge la aproximativ 1,75, în timp ce cel al diamantului depășește 2,4.

Indicele de refracție este o caracteristică fizică de bază. A fost măsurat și tabelat pentru mii de substanțe diferite. Litera greacă mu (/л) este adesea folosită pentru a o simboliza.

Refracția și curbarea luminii. Vitezele variabile cu care lumina este transmisă de diferite substanțe sunt strâns legate de schimbările de direcție pe care le suferă undele luminoase atunci când trec dintr-o substanță cu un indice de refracție într-o substanță cu altul. De fapt, dacă cunoaștem indicii de refracție ai fiecărei substanțe și unghiul la care un fascicul de lumină se apropie de granița dintre ei, putem prezice noul unghi la care fasciculul se va mișca pe măsură ce părăsește acea graniță.

Astfel de unghiuri, fie de apropiere, fie de plecare de la o interfață optică, sunt măsurate în raport cu o linie perpendiculară (în unghi drept) pe pianul acelei limite. Dacă o grindă se apropie, printr-o substanță A, la un unghi de a, care va fi b, unghiul la care se îndepărtează de graniță, pe măsură ce trece prin substanța B?

Răspunsul poate fi găsit utilizând o ecuație simplă cu indicii de refracție ai celor două substanțe și, de asemenea, sinusurile celor două unghiuri, relații sau funcții trigonometrice familiare, prescurtate ca sin.

$\sin a \, \mu A \sim \sin b \, \mu B$

Cu cuvinte: Sinusul unghiului de deplasare al luminii în substanța A cu indicele de refracție al lui A este egal cu sinusul unghiului său de deplasare în substanța B ori cu indicele de refracție al lui B.

Să luăm, de exemplu, cazul unui fascicul de lumină în spațiu, care lovește cu un unghi de 30° suprafața unei foi de sticlă grea din silex (indice de refracție 1,5) în geamul unui vehicul spațial. În ce unghi se va mișca fasciculul când trece prin sticlă?

Indicele de refracție al spațiului este în mod evident exact 1,0, iar sin 30° este 0,50. Este ușor de arătat că 0,5/1,5 sau 0,33333 este sinusul lui a, unghiul de deplasare prin sticlă. Și unghiul a este aproape exact de 19° 29', sau aproximativ 19,5°. Astfel, unghiul de ieșire, prin refracție, a fost deplasat sau refractat cu aproximativ 10,5° în comparație cu unghiul „de intrare” sau unghiul de incidență față de suprafața sticlei.

Astfel de îndoiri, care rezultă din diferențele în vitezele mișcării luminii, sau „propagare”, în diferite substanțe, sunt fundamentul acțiunii tuturor lentilelor, inclusiv procesul fundamental numit „focalizare”.

Folosind testul timpului. Optica funcționează în general în termeni de unghiuri și distanțe. Dar putem măsura călătoria luminii prin lentile și în termeni de viteze și timp scurs. Acest lucru ajută să înțelegem mai bine, mai târziu, cum tipul de „focalizare” pe care îl găsim în holografie diferă de tipul realizat de lentile.

Figura 1-1 prezintă o lentilă. Primește lumina care a ajuns în ea

Obiectiv

Planul focal figura 1-1 Curbarea razelor de lumină prin refracție.

direcții variabile de la un punct P, undeva pe un obiect. Cinci direcții diferite, sau „raze”, sunt afișate de liniile etichetate R,S,T,U și V. Fiecare dintre acestea este îndoită sau refractă într-o măsură mai mare sau mai mică, astfel încât să ajungă în final la P', imaginea aceluiași punct pe planul focal.

Este ușor de observat că cea mai scurtă distanță totală dintre P și P' este de-a lungul liniei lui T, raza care trece prin axa optică a lentilei. Înseamnă asta că lumina care se mișcă de-a lungul T durează mai puțin timp decât lumina care se mișcă de-a lungul celorlalte patru căi indicate în diagramă? Nu, deoarece lumina prin intermediul lui T trebuie să treacă printr-o grosime mai mare a sticlei lentilei decât lumina care trece prin căile S sau U. Și lumina care trece de-a lungul acestor două căi trece printr-o grosime mai mare a sticlei lentilei decât lumina. călătorind de-a lungul rutelor etichetate R și V.

Dacă calculăm întârzierea pe care o suferă fiecare rază de lumină când trece printr-o astfel de lentilă în drumul către imaginea formată pe planul focal, vom găsi că pentru fiecare cale posibilă între P și P' timpul luminii reale. călătoria este egală. Căile care sunt mai lungi, măsurate în inci sau milimetri, sunt cele cu întârziere mai mică datorită efectului de încetinire al lentilei. Acele căi care sunt mai scurte ca distanță implică întârzieri mai mari din cauza cantității de sticlă pe care trebuie să o traverseze.

Focalizarea se poate face și cu oglinzi curbate, mai degrabă decât cu lentile. Dacă urmărim în mod similar distanțele pe care fiecare rază de lumină trebuie să le parcurgă de la un punct obiect P la punctul-imagine corespondent P' pe planul focal, atunci când o astfel de oglindă curbată (parabolică) este instrumentul de focalizare, atunci aflăm că totalul lungimea - P la oglindă și de aici la P' - este aceeași pentru fiecare cale posibilă. Henee, timpul de călătorie pentru fiecare bit de lumină astfel focalizat este identic.

Focalizarea, indiferent dacă este realizată prin lentile refractante sau cu oglinzi reflectorizante, este, prin urmare, întotdeauna o situație de timp de călătorie egal. Forma lentilei care va permite un anumit pahar sau o combinație de

ochelarii pentru a focaliza orice parte a unui obiect și, astfel, a forma o imagine a acelei părți, este întotdeauna și numai forma care asigură un astfel de timp egal de călătorie pentru toată lumina în cauză. De asemenea, forma oglinzii potrivită pentru focalizare este întotdeauna și numai forma care oferă o distanță totală egală de călătorie și un timp de călătorie egal pentru toată lumina implicată.

În general, se presupunea că formarea imaginii este posibilă numai prin intermediul unei astfel de focalizări, depinzând uneori de reflexia oferită de oglinzile curbate, dar mai des de refracția furnizată de lentilele curbate și sistemele de lentile. De fapt, procesele de reflectare a luminii și de refracție a luminii au fost recunoscute și înțelese cu mult înainte ca alte tipuri mai puțin evidente de

comportament al luminii să fie recunoscute, denumite și în cele din urmă măsurate.

Euclid, de asemenea, poate greși uneori. Euclid, marele maestru grec al geometriei și matematicii, a declarat în jurul anului 300 î.Hr. că lumina se mișcă în linii drepte, „cunoscute sub numele de raze”. Știa, desigur, că lumina poate fi atât reflectată, cât și refractă. Cu toate acestea, părea clar că între schimbările de unghi la o suprafață reflectorizantă sau la interfața dintre două corpuri cu indice de refracție diHering, lumina se mișca numai și întotdeauna pe căi drepte.

De fapt, de fiecare dată când un tâmplar vedea de-a lungul unei margini pentru a vedea dacă era dreaptă sau un arcaș de-a lungul unei săgeți când țintea, el folosea modul de mișcare al luminii ca standard pentru o dreptate totală.

Mai târziu, când bărbații au început să facă lentile destul de precise și să le folosească, singuri sau în combinații, s-a găsit imposibil să izolați un lucru precum o singură rază de lumină, precum cea indicată în Figura 1-2. De fapt, s-a constatat că nu se poate izola nici măcar a

figura 1-2 Raza de lumină

(imaginar).

FIGURA

1-3 Pendi de lumină reconstruit.

figura 1-4 Fascicul oj lumină {actual}.

concept optic mai puțin strict numit pendi de lumină, constând dintr-un mic mănunchi sau snop de raze, toate putând fi urmărite înapoi la o singură sursă punctuală, ca în Figura 1-3.

Faptul greu este că lumina este emisă sau reflectată doar de zone sau regiuni, nu de geometrică! puncte, care au numai poziție și nu au dimensiune sau întindere. În optică, precum și în geometrie, punctele pure și liniile pure sunt concepte abstracte, imaginare. Sunt utile în analiză, dar se caută în zadar exemple reale ale fiecăreia din lumea reală din jurul nostru.

În această lume reală, cel mai mic lucru care se poate realiza prin tăierea surselor și restrângerea dimensiunilor unui grup de unde luminoase este fasciculul de lumină (Figura 1-4). Acesta este un pachet destul de compact de creioane de lumină, care emană sau par a emana dintr-o sursă mică și care nu se răspândesc mult pe măsură ce procedează.

În ciuda lui Euclid, lumina cu care trebuie să ne confruntăm în optica camerelor, microscoape sau telescoape, nu este un complex de raze asemănătoare liniilor, este, mai degrabă, un complex de mișcări sau

oscilații unde electromagnetice, propagate prin spațiu sau prin materie transparentă. Razele pot fi folosite doar ca indicatori. Ele arată direcția în care o anumită parte a undei luminoase progresează, deoarece se mișcă atât de rapid.

Dificultăți generate de valuri. Așadar, consecințele utile ale naturii ondulatorii a luminii au devenit evidente pe măsură ce bărbații au început să folosească lentile în dispozitive atât de recente precum telescopul, vechi de abia 360 de ani cât sunt scrise aceste linii.

20

Realizări extraordinare și promisiune mai mare

În Țările de Jos, lentilele au fost mai întâi combinate într-un „tub de mărire”. În Italia, marele Galileo a auzit raportul și, până la sfârșitul primului deceniu al secolului al XVII-lea, el și-a făcut unul și s-a grăbit să îl îndrepte spre cerurile înstelate – cu consecințe de neuitat pentru astronomie.

Acest telescop s-a mărit de puțin peste 30 de ori. Cu el Galileo putea vedea planetele ca niște sfere minuscule, clar diferite de stelele punctiforme.

Telescoape ca acesta sufereau de multe imperfecțiuni, inclusiv franjuri supărătoare de culoare în jurul stelelor. Acest lucru a rezultat din faptul că lumina din toate corpurile cerești este un amestec de multe lungimi de undă (culori), de la roșu la violet - iar lentilele telescopului au îndoit (refractat) cele mai scurte lungimi de undă (cele spre violet) , și cel puțin cel mai lung (cele spre roșu).

Dacă telescopul ar fi ajustat pentru a aduce lumina albastru-violet la focalizare clară, ar exista un halou de culori în jurul acelei imagini, variind în exterior de la verde la roșu. În termeni utili de timp de călătorie, aceasta însemna că sticla lentilelor a încetinit lungimile de undă mai scurte mai mult decât cele mai lungi. Acest tip de diferență în indicele de refracție se numește dispersie, deoarece dispersează culorile pe o zonă vizibilă, în loc să le țină împreună.

Dispersia are loc numai datorită interacțiunii luminii cu materia. Nu apare în spațiul gol, unde toate lungimile de undă ale luminii, precum și razele X și undele radio călătoresc la limita de viteză universală, c.

Dispersia este foarte frecventă. Astfel, lumina roșie este cu aproximativ 1,4% mai rapidă decât albastră în apă pură. În disulfura de carbon, un alt lichid, diferența este și mai accentuată – aproximativ 2,5 la sută. Efectele de dispersie pot deveni enorme atunci când includem comportamentul lungimilor de undă mult mai mari decât cele ale luminii vizibile. De exemplu, undele radio cu lungimea de undă de 4 mm se pot mișca

21

HOLOGRAFIE

prin apă la doar aproximativ 5% din viteza lor în spațiul gol! Indicele de refracție al apei, pentru astfel de unde electromagnetice, este astfel unul enorm - 9,5.

Alcoolul și diverse pahare se numără printre substanțele care, precum apa, prezintă o dispersie marcată. Din fericire pentru optică, indicele de refracție și dispersia sunt independente, deși asemănătoare. S-a constatat, în timp util, că diferite tipuri de sticlă pot fi combinate astfel încât să producă refracția dorită sau îndoirea luminii, totuși astfel încât să neutralizeze dispersia nedorită sau împrăștierea culorii.

De exemplu, sticla de coroană din silicat de bariu, deși mai refractivă decât sticla de coroană cu dispersie mare, este cu aproximativ 10 la sută mai puțin dispersivă. Pe de altă parte, cea mai grea sticlă din silex este cu aproximativ 30% mai refractivă decât sticla de coroană cu fosfat ușor, dar cu între 500 și 600% mai dispersivă.

Limite ale instrumentelor care folosesc lentile. Pe parcursul a aproximativ trei secole în care primul tub telescop brut al lui Galileo de interogațiile tinere ale tânărului Ga-bor, acestea și alte progrese enorme au avut loc în tehnologia și teoria instrumentelor care folosesc lentile. Aceste instrumente de formare a imaginilor prin refracție sau reflexie, aproape atinseseră limitele lor practice, nu departe de limitele finale, bine definite de teoria optică.

Chiar și cel mai puternic sau dinar – sau „uscat” – microscop, atunci când este focalizat pe un obiect, ar putea dezvălui, sau „imagine”, doar detalii mai mari de aproximativ o cincime de micron (2 x 10~7 metri). De fapt, o treime de microni (3,33 x 10~7 metri) a fost o limită mai tipică pentru puterea de rezoluție practică. Și asta era cam indiferent dacă ochiul unui om sau o placă foto era receptorul imaginii finale.

Chiar și dispozitivele complicate ar putea îmbunătăți situația, dar puțin. Una a implicat scufundarea atât a obiectului văzut, cât și a obiectivului microscopului într-un lichid cu indice de refracție ridicat. Un astfel de microscop „umed” ar putea rezolva detaliile până la aproximativ 1,5 sau chiar

1,3 X 10~7m. Un alt dispozitiv și și mai dificil a implicat utilizarea undelor de lumină ultravioletă (ultra-scurte) invizibile și a unui microscop ale cărui lentile erau modelate din cuarț, nu din sticlă. Câștigurile în puterea de rezolvare au fost mai mari aici, dar nu suficient.

Rezolvarea detaliilor până la o treime sau o cincime dintr-o dimensiune de micron poate părea impresionantă, dar este mult prea grosier să imaginezi un virus, care are o lungime de aproximativ o sutime de micron. Și chiar și bacteriile, deși lungimile lor tipice sunt mai mari de un micron, au „detalii structurale” mult mai mici decât o cincime sau chiar o zecime de micron.

Limitele posibilei puteri de rezoluție stabilesc, de asemenea, limite efective pentru măririle care au meritat să fie utilizate. Nu a existat niciun câștig în depășirea de aproximativ 800 de ori cu un microscop „uscat” sau de 1200 de ori cu unul „umed”. Măriri mai mari decât atât au crescut amploarea confuziei dintre detalii prea mici pentru a fi rezolvate în imagine.

Telescoapele, de asemenea, au suferit de limitări „încorporate” ale puterilor lor de rezoluție unghiulară. Pentru fiecare diametru al obiectivului unui telescop, indiferent dacă este de tip lentilă sau oglindă, a existat un unghi minim între stele care putea fi fotografiat separat. Cei cu o separare mai mică erau pur și simplu văzuți ca și cum ar fi alergați împreună.

Peste tot în lumea lentilelor de focalizare – microscoape, telescoape, camere foto și toate – asemenea limite de inevitabil erau evidente. Nicio îmbunătățire în proiectarea sau construcția lentilelor nu le-ar putea evita, deoarece acestea au apărut din natura luminii, pe de o parte, și din procesele de imagistică prin refracție sau reflexie, pe de altă parte.

Nu era nici o cale de ieșire? Cerințele științei au cerut rezoluții mult mai mari, care ar permite măriri mult mai mari. A oferit lumina alte posibilități care ar putea permite formarea imaginilor fără aceste limitări? Dennis Gabor a înțeles destul despre lumină încât să-i permită măcar să spere că, cumva, undeva s-ar putea găsi o astfel de ieșire. . .

capitolul 2

Huygens propune un principiu și

Grimaldi descoperă difracția

Care au fost ideile optice care l-au încurajat pe Gabor să spere că speculațiile sale nu erau doar iluzii? Printre ele este unul numit Huygens Principie pentru marele om de știință olandez, Christian Huygens (1629-1695). Gabor s-a referit la el ca un gigant în studiul mișcării valurilor și este o laudă bine meritată.

Huygens a fost primul care a propus că lumina este formată din pulsații sau unde. Adevărat, el a scris despre ele ca și cum ar fi tulburări aleatorii și mai degrabă separate de un fel, mai radiale decât oscilațiile uniforme și continue la care ne gândim astăzi. Cu toate acestea, acesta a fost primul mare pas către o teorie ondulatorie a luminii. Într-adevăr, a trecut mai mult de un secol de la moartea sa, înainte ca știința optică să avanseze cu mult mai mult decât el pe drumul către o teorie a undelor adevărată și sustenabilă.

Principiul lui Hugyens nu se limitează la lumină, nici măcar la oscilații electromagnetice. Se aplică și unor astfel de tipuri variate de propagare a undelor, cum ar fi sunetul, și chiar și umflăturilor de suprafață care se deplasează peste apă și alte lichide.

II

figura 2-1 Mișcarea valurilor, ilustrată doar de o singură undă.

Aruncă o pietricică într-un corp neted de apă. Se formează valuri (unduri), care se deplasează spre exterior din centrul perturbării, scăzând în înălțime (amplitudine) pe măsură ce se extind. Se răspândesc în mod egal în toate direcțiile (dacă nu sunt împiedicate) și formează cercuri în jurul centrului. Și fiecare punct de pe fața care se mișcă înainte a undei, sau a frontului de undă, pare să se deplaseze în exterior în direcția direct opusă celei care duce la originea perturbării.

Figura 2-1 arată doar un val, etichetat I, scos dintr-o serie pentru a face acest lucru mai evident. S marchează locul unde a început „necazul”. Dacă privim un astfel de val, vedem că de la A s-a mutat, o clipă mai târziu, în A'; şi de la B la B'; și așa mai departe. Astfel, fostul front de undă, etichetat I, vine să fie înlocuit cu unul nou, etichetat II, și arătat printr-o linie întreruptă.

Huygens a oferit o imagine a proceselor invizibile care lucrează în acest sau orice alt tip de avans sau propagare constantă a undelor. Principiul său propune pur și simplu că în fiecare moment fiecare punct de pe frontul de undă (cum ar fi punctul A) acționează ca o nouă sursă sau centru de perturbare.

Fiecare element de front de undă sau locație, pe scurt, generează constant

figura 2-2 Principiile lui Huygens făcute vizibile, prin intermediul unei lupe imaginare de „unde secundare”.

elimină noi seturi de undele secundare, de obicei invizibile. Aceste secundare interacționează între ele, iar ceea ce vedem și putem măsura sunt undele primare rezultate. Acestea sunt, conform lui Huygens, „învelișurile” sau rezultatele undelelor secundare.

Figura 2-2 sugerează cum ar putea arăta astfel de secundare, dacă ar fi vizibile. Ele sunt într-adevăr de bază pentru înțelegerea opticii în general și a holografiei în special. Astfel de undele secundare ar trebui considerate ca fiind la lucru și atunci când, prin intermediul lentilelor sau oglinzilor, razele de lumină sunt redirecționate și fronturile de undă remodelate.

Figura 2-3 prezintă fronturi de undă care se deplasează de la o sursă S, către o lentilă. La C sunt indicate unele dintre undele secundare invizibile din acel fascicul divergent. La P vedem un alt exemplu

imaginar de secundare în acțiune. Le putem concepe chiar la lucru în interiorul sticlei lentilei în sine. În acel pahar se extind

P

Obiectiv

figura 2-3 Unde secundare, înainte și după o lentilă a remodelat fronturile de undă.

mai puțin rapid decât în aer și astfel rezultă operația de refracție sau de curbare a razelor a lentilei.

Principiul lui Huygens descrie interacțiunea constantă și neîncetată dintre cauză și efect. Ea arată că continuitatea neîntreruptă a schimbului de energie stă la baza mișcării undelor. Oferă o modalitate fructuoasă de analiză a comportamentului fronturilor de undă pe care le găsim în mișcare peste tot în jurul nostru - în lumină, în radio, în sunet și în undele de apă.

Acest concept al continuității neîntrerupte a propagării tuturor luminii de la originea ei, în lampă sau în soare, până la absorbția sa finală undeva, a făcut parte din gândirea tânărului Gabor chiar și în tinerețe. Însemna pentru el că informațiile optice complete despre orice scenă sau obiect trebuie să fie prezente, deoarece lumina din acesta traversa fiecare plan care putea fi trasat între ea și emulsia finală a fotografiei. A rămas însă problema elaborării unei noi metode pentru extragerea și stocarea unor astfel de informații – o metodă eliberată de cele mai supărătoare limitări ale lentilelor obișnuite.

Principiul lui Huygens ar fi putut să-și piardă o parte din relevanța pentru astăzi, dacă valoarea sa s-ar fi limitat la a contabiliza doar efectele de reflexie și refracție. Este, totuși, și mai util în analiză

lyzând un alt tip de comportament al luminii mult mai subtil, numit „difracție”.

Darul lui Grimaldi pentru optică. Difracția a fost observată, descrisă și numită pentru prima dată cu aproximativ o treime de secol înainte de moartea lui Huygens, de către un savant și om de știință, Francesco Maria Grimaldi (1618-1663), profesor de matematică la Universitatea antică din Bologna, Italia.

Grimaldi murise de doi ani când, în 1665, a apărut volumul ilustrat latin care a fost capodopera sa: Physico-Ma-thesis de Lumine, Coloribus, et Iride (Physico-Mat hématies of Light, Color, and Iridescence). Dintre șaizeci și două de „propoziții” ale sale legate de lumină, primele două s-au ocupat de descoperirea sa specială: diffractio luminiș (difracția luminii). Propunerea I, de fapt, începe cu îndrăzneală cu afirmația sa că, pe lângă cele trei moduri familiare de propagare a luminii, adică directă, refracție și reflexie, există o a patra: difracția.

Grimaldi însuși făcuse experimentele cruciai. Printr-o mică deschidere dintr-un oblon, lăsase un fascicul de lumină solară să intre în camera lui întunecată. În acea rază plasase obiecte mici și observase cu atenție umbrele pe care le aruncase pe un ecran la o distanță mai departe.

Dacă lumina s-ar fi mișcat mereu în fine drepte, așa cum a afirmat Euclid, atunci acele umbre ar fi fost clare și clare — geometrica! umbre, de fapt. Dar asta nu erau. Erau mai largi decât ar fi trebuit. Ele par să se răspândească în zone care ar fi trebuit să fie complet însorite, potrivit lui Euclid. Și în jurul acestor umbre se întindeau mai multe benzi sau franjuri colorate.

Pentru Grimaldi, aceste franjuri semănau cu „amenzile de-a lungul coastei mării într-o hartă". un lichid, cum ar fi o insulă în mare.

figura 2-4 Primul experiment al lui Grimaldi: difracția luminii de către un obiect mic.

figura 2-5 Prima reprezentare a „franjuri" de difracție cu colorații variate.

În orice caz, Grimaldi era sigur că culorile din franjuri care mărginesc aceste umbre strânse au o origine diferită de culorile formate prin refracția luminii albe, cum ar fi prin prisme, sau prin picăturile de ploaie care dau naștere magiei curcubeului. Chiar avea dreptate.

Figura 2-4 este ilustrația pentru primul experiment de difracție al lui Grimaldi. AB este mica deschidere prin care raza de lumină solară intră în cameră. Acesta cade pe ecran între C și D. Micul obiect FE este plasat în acel fascicul. Conform lui Euclid, umbra sa ar trebui să se extindă de la I la L, cu cea mai densă umbră între G și H. Cu toate acestea, Grimaldi a descoperit că franjurile colorate se extind până la M și N. Liniile punctate arată îndoirea surprinzătoare, sau difracția, dintre aceste franjuri în ceea ce ar fi trebuit să fie zone de soare solid.

Figura 2-5 arată cum au fost văzute efectele reale de umbră de către Grimaldi: regiunea de umbră X, apoi trei franjuri descrescătoare, M,P și S, cu margini de diferite culori, ale căror zone sunt indicate prin literele N,O,Q, R, T și V.

Acesta a fost doar începutul. Dacă lumina de intrare a fost suficient de brighină, Grimaldi a găsit că și un număr impar de franjuri

figura 2-6 Obiectele cu forme diferite formează frange de difracție de forme diferite, așa cum se arată în marea lucrare a lui Grimaldi.

figura 2-7 Fnnge în formă de pene formate de lumina difractată de la un corp beni la un unghi righi.

G

figura 2-8 Difracția luminii a trecut prin două deschideri succesive, așa cum arată Grimaldi

putea fi văzut în interiorul umbrei. Acest lucru însemna că puțină lumină se apleca în ceea ce ar fi trebuit să fie zone complet umbrite. Acesta a fost un efect în plus față de umbrirea sau iluminarea redusă în zonele care ar fi trebuit să fie complet iluminate.

În general, Grimaldi a găsit franjuri care se formează paralel cu marginile obiectului. Cu toate acestea, Figura 2-6 arată că atunci când au fost formate în exteriorul unui unghi, s-au comportat într-un fel (ca după colțul de la BE la DF), în timp ce atunci când au fost formate în interiorul unui unghi, arătau destul de diferit (ca în unghiul drept la CH, unde franjurile par să se încrucișeze unul cu celălalt în mod table de șah).

Figura 2-7 arată că, dacă obiectul de turnare a umbrei a fost îndoit într-un unghi, în interiorul umbrei s-au format franjuri în formă de pene, mai întunecate decât restul (între D și C).

Chiar și conurile și cilindrii compuși din lumină însăși au dezvăluit efecte de difracție lui Grimaldi. Figura 2-8 arată cum a lăsat lumina soarelui să treacă succesiv prin două deschideri, mai întâi CD apoi GH. Principiul lui Euclid ar cere ca lumina să cadă pe ecran doar între N și O. Cu toate acestea, Grimaldi a descoperit din nou că s-a îndoit, revărsându-se în zonele IN și OK, în mod evident propaindu-se de-a lungul căilor indicate de liniile punctate GI și HK.

Uriași după Grimaldi. Huygens însuși nu s-a ocupat direct de difracție. De fapt, faimosul său Tratat despre lumină, scris în jurul anului 1678, sugerează cu tărie și greșit că o astfel de îndoire a luminii în jurul obstacolelor opace și a marginilor deschiderilor sau fantelor nu ar trebui să aibă loc.

Mai târziu au urmat alți trei giganți în optică, toți englezi, fiecare s-a ocupat în felul său de noile și incontestabilele fenomene de difracție: Robert Boyle (1627-1691), Robert Hooĸe (1635-1703) și Isaac Newton (1642-1727).

Newton a rămas multă vreme cel mai influent dintre ei

toate, pentru că până la apariția lucrării sale Optics în 1704, el avea un prestigiu enorm în știință, datorită teoriei sale triumfale a gravitației. El nu a susținut o teorie a undelor pure a propagării luminii. El a sugerat mai degrabă că lumina era formată din particule sau corpusculi mici care zboară rapid. Direcțiile mișcărilor lor au format căile razelor dintre sursă și destinație.

Prin intermediul unor astfel de particule zburătoare, Newton ar putea explica reflexia și chiar refracția. Dar atunci ce se întâmplă cu difracția, ale cărui efecte le-a măsurat și descris cu mare grijă? Newton a oferit un răspuns, într-un fel, sub forma a două întrebări retorice curioase: „Nu sunt razele de lumină, trecând prin marginile și laturile corpurilor, de mai multe ori înainte și înapoi cu o mișcare ca cea a anghilei? Și nu apar cele trei franjuri de lumină colorată din astfel de îndoiri?”

Acum cineva poate fi tentat să zâmbească. Totuși, noțiunea de zbârcire asemănătoare anghilei a fost, ca și restul opiniilor sale, larg influentă.

A urmat o lungă perioadă de stagnare; teoria ondulatorie a luminii a devenit eclipsată, deoarece marele Newton nu o favorizase. Abia după începutul secolului al XIX-lea a fost reînviat și dus la culmi triumfătoare de munca unei perechi ciudat de contrastante, dar extraordinar de complementare de investigatori de pe ambele maluri ale Canalului: Dr. Thomas Young (1773-1829) în Marea Britanie, și Augustin Fresnel (1788-1827) în Franța.

Ei au perfecționat și extins teoria undelor pentru a acoperi nu numai transmisia directă, reflexia și refracția, ci și misterioasa patra a lui Grimaldi: difracția.

Cu ajutorul valurilor pe apă. Swellurile mari, lente, care se mișcă peste apă, ne pot ajuta să vedem difracția ca un factor fundamental în toate mișcările valurilor, inclusiv undele în special rapide și scurte pe care le cunoaștem sub numele de lumină.

Figura 2-9 prezintă un canal sau canal prin care se deplasează

B

figura 2-9 Valurile de apă pe cale să treacă de un obstacol care se extinde într-un canal.

ing un set de opt umflături de la o tulburare îndepărtată. O barieră grea sau un perete se extinde parțial de-a lungul canalului la B. Ce se va întâmpla după ce aceste umflături întâlnesc bariera?

Dacă nu ar fi Principiul lui Huygens, am putea presupune, în mod greșit, că rezultatul ar arăta ceva ca Figura 2-10: o tăietură curată a

valurilor, cu toată zona dincolo de barieră, indicată de S, într-un zona de umbră, adică lipsită de toate semnele mișcării undei.

Figura 2-11 arată, pe de altă parte, ce se întâmplă de fapt. Principiul lui Huygens și undele sale secundare sunt la lucru, pentru că

cauza barierei. Rezultat – dincolo de vârful acelui obstacol fronturile de undă se curbează în zona de umbră.

De asemenea, mărimea undei, sau amplitudinea, scade în așa fel încât energia care sa deplasat spre regiunea din dreapta (marcată cu N) este acum răspândită atât pe N, cât și pe M. Difracția face ca energia undei să se curbeze în jurul barierei. Fronturile de valuri se deplasează din ce în ce mai mult în regiunea umbrită, scăzând în dimensiune pe măsură ce o fac.

Difracția este de fapt un acompaniament inevitabil pentru toate mișcările undei. Se arată ori de câte ori obstacole restricționează sau limitează propagarea liberă a undelor, fie că sunt unde pe apă, unde de sunet sau unde electromagnetice, cum ar fi lumina sau radioul.

Cu cât lungimile de undă sunt mai scurte, cu atât efectele de difracție sunt mai mici. Aceasta a făcut ca difracția luminii să fie descoperită și măsurată atât de târziu. Cu toate acestea, utilizarea modernă a razelor X puternice pentru a analiza structurile atomice și cristaline prin difracție, arată că lumina nu stabilește în niciun caz limita pentru scurtitatea radiației ale cărei efecte de difracție pot fi făcute pentru a servi curiozitățile oamenilor.

Difracția este în esență o îndoire a energiei valurilor în jurul obstacolelor. Ea produce nu numai o anumită iluminare (sau energie) unde nu ar fi trebuit să ne așteptăm la nici una din principiile euclidiene; de asemenea, produce mai puțină energie (întunecare parțială) acolo unde ar fi trebuit să ne așteptăm la energie completă.

Difracție manuală. Franjele de difracție pot fi întrezărite fără a face găuri în ecrane sau obloane, așa cum a făcut Grimaldi. Se poate privi pur și simplu cu un ochi deschis la un cer îndepărtat sau un perete de culoare deschisă, apoi pune doi sau trei centimetri în fața acelui ochi cu o mână, ținută cu degetele strânse împreună. În fantele înguste sau „crăpăturile” dintre degete ar trebui să se observe benzi sau franjuri alternative de lumină și întuneric, din cauza difracției.

Marginile interioare ale degetelor în sine probabil că nu o vor face

arată la fel de solid și dur ca de obicei. O margine sau margine de lumină s-a revărsat acolo în ceea ce, considerat geometric, ar trebui să fie o regiune de umbră bine definită.

Marginile drepte unice, mai degrabă decât fante sau deschideri, pot crea, de asemenea, efecte de difracție. Se poate folosi marginea dreaptă a unei clădiri, cum ar fi un colț vertical sau o linie orizontală a acoperișului, conturată pe cerul zilei. Apoi, dacă, cam la distanță de braț, o riglă este ținută cu marginea paralelă cu acea margine a clădirii și rigla este mișcată încet până când marginea ei pare să se suprapună pe cea a clădirii - dacă ochii noștri sunt concentrați asupra clădirii, vom poate vedea chiar în acel moment marginea aparent solidă a clădirii ruptă în mai multe linii sau franjuri separate. Difracția din nou la lucru!

Difracția definită. Difracția, în special a luminii, pare oarecum mai derutantă decât reflecția, refracția sau chiar dispersia. Random House Dictionary calis difracție „fenomenul manifestat de fronturile de undă care, trecând de marginea unui corp opac, sunt modulate, determinând astfel o redistribuire a energiei în interiorul frontului...”

Autorul cărții prezente, fiind parțial față de mnemonică și alte ajutoare ușoare ale memoriei, a dat seama de acest lucru: acțiunea diferită arătată de părțile unui front de undă care continuă să se propagă după ce barierele au tăiat sau alterat restul.

Diferit aici înseamnă în esență diferit de ceea ce am găsi dacă vechiul Euclid ar fi fost literalmente corect, iar lumina s-ar fi mișcat doar „în linii drepte”.

Matematica! analiza difracției, în special a luminii, este foarte complexă. Nu trebuie decât să lămurim că amploarea acestei „acțiuni diferite” este legată atât de dimensiunile relative ale (a) undelor care sunt difractate, cât și (b) obstacolelor care fac difracția.

Orice val, indiferent dacă este de lumină sau sunet sau pe apă, „vede” pe

dimensiunea unui obstacol în ternas de lungimea de undă proprie. O deschidere care ar putea „pare îngustă” până la swelluri lungi pe un lac, ar putea fi enormă în alternanța undelor sonore scurte emise de un piccolo într-o orchestră. De asemenea, o barieră pe care undele sonore ale lui piccolo ar vedea-o ca fiind „mică”, ar putea fi încă de multe mii de lungimi de undă luminoase în lățime.

Holografia se referă la lumina vizibilă și comportamentul ei difrativ. Prin urmare, trebuie să subliniem că relațiile dintre refracție și difracție sunt inversate. În prima, cele mai scurte lungimi de undă sunt cele mai îndoite și cele mai lungi mai puțin, pe măsură ce trec printr-o anumită substanță transparentă. În cea din urmă (difracție), un obstacol sau o deschidere dată îndoaie cel mai mult cele mai lungi lungimi de undă de lumină (roșu) și cel puțin pe cea mai scurtă (violet).

Nu mai puțin important și poate chiar mai surprinzător este faptul că unghiurile unei astfel de îndoiri devin mai mari în difracție pe măsură ce dimensiunile obstacolelor de îndoire devin mai mici. Astfel, dacă

trimitem unde luminoase cu o lungime de undă neschimbată printr-o deschidere pe care o micșorăm constant, unghiul la care fasciculul emergent este difractat va crește constant și cu o rapiditate deosebită pe măsură ce intervalul se apropie de dozator la o lățime de doar 1λ (un lungime de undă).

Astfel, o deschidere de 40λ lățime produce o extindere unghiulară de 3° în fasciculul principal emergent (fascicul central, deoarece putem ignora aici pe cele subsidiare mult mai slabe de ambele părți). Reduceți deschiderea la 8λ, iar fasciculul central se extinde la un unghi de 14°. Apoi urmează, pentru o deschidere de 4λ—29°, și pentru o deschidere de 2λ—-60°. Este adevărat că, cu cât deschiderea sau decalajul este mai mică, cu atât este mai mică cantitatea de energie a valurilor care trece prin ele. Dar cu cât este mai mare răspândirea unghiulară sau distribuția a ceea ce trece.

Efectele de difracție sunt influențate, de asemenea, de distanța dintre diafragma care face difracția și ecranul sau ocularul unde se observă consecințele. Cu cât distanța este mai mare,

cu atât separările observate între franjele sau benzile de difracție sunt mai mari.

Efectele de difracție rezultă din orice fel de obstacol care este mic în raport cu lungimile de undă care trec pe lângă ele. Nici măcar nu este necesar ca astfel de obstacole să fie opace la lumină. Bulele mici sau variațiile de densitate în sticla optică, sau chiar particulele de praf vor face acest lucru. Orice regiune care prezintă o refracție alterată în cadrul unui sistem optic are efecte de difracție, precum și efecte de refracție.

Este aproape ca și cum difracția ar fi dispozitivul mișcării undelor pentru a scăpa parțial de limitările pe care obstacolele încearcă să le impună. Datorită waveletelor secundare invizibile imaginate de Huygens, fronturile de undă reușesc să se înfășoare parțial în jurul unor astfel de bariere.

Problemele de difracție au afectat de mult proiectanții de instrumente optice precise și sofisticate. Cu toate acestea, difracția, planificată și produsă în mod deliberat, face posibile realizări optice extraordinare precum rețelele de difracție, care sunt cu mult superioare prismelor de sticlă în generarea spectrului.

Și acum avem holografia în sine, într-un sens foarte real, cea mai recentă realizare a difracției utilizate în mod deliberat.

capitolul 3

Interferență, coerență și regula reversibilității

Rolul cali al modurilor de bază de mișcare și interacțiune ale luminii este aproape de sfârșit. Pentru a direcționa transmisia, reflexia,

refracția, dispersia și difracția, trebuie adăugată una, cea mai recentă pentru a fi demonstrată și explicată.

Interférence este numele pe care i-a dat descoperitorul său, Dr. Thomas Young, unul dintre cei mai versatile genii care au îmbogățit vreodată știința. Din copilărie a fost un minune. A devenit maestru în multe limbi, în botanică, fiziologie, meteorologie, matematică și chiar șlefuirea lentilelor.

Când, la vârsta de douăzeci de ani, a început să studieze medicina la Londra, una dintre primele sale sarcini a fost disecția ochiului unui bou. Young a dovedit rapid falsitatea vechii presupuneri că ochiul și-a modificat focalizarea modificându-și lungimea. El a arătat, în schimb, că un sistem frumos de mușchi schimbă forma, iar distanța focală, a cristalinului intern al ochiului.

Când Young a absolvit în sfârșit medicină la Góttingen, Germania, în 1795, teza sa — o capodopera — s-a ocupat de vocea umană. Cheltuielile sale de anvergură pe sunet și acustică au condus

el să experimenteze mai târziu și cu ceea ce el credea a fi un tip analog de mișcare ondulatorie: lumina.

Era adânc în experimente, bazate parțial pe studiile anterioare de difracție ale lui Grimaldi, când sa stabilit ca medic practicant la Londra. În acestea, la fel ca în aproape tot ce a atins, Young părea să se îndrepte mult spre viitor. Cercetările sale asupra luminii strălucesc ca niște bijuterii de inspirație, perspicacitate și simplitate.

Pentru sursa sa de lumină, Dr. Young a folosit o lampă simplă cu alcool, încurajând-o să emită lumină mai aproape de galben (monocromatic) prin aruncarea de sare comună în flacără. Apoi, pentru a reduce fasciculele rezultate pentru a crește efectele de difracție, le-a trecut prin găuri minuscule din ecranele negre.

Young pare să fi observat răspândirea rezultată a grinzilor după ce acestea au trecut prin găuri așezate în linie, la o anumită distanță. Ultimele bube circulare de lumină au fost primite, destul de slab, pe un alt ecran.

Poate într-un efort de a crește intensitatea acestor blob-uri finale difractate, Young a încercat să dubleze găurile pe al doilea ecran. A lăsat doar o gaură în primul ecran, iar lumina de acolo a difractat, s-a învârtit și a trecut printr-o pereche de găuri, apropiate una lângă alta, în al doilea ecran.

Acum a apărut ceva destul de nou pe ecranul final (al treilea)! În loc de un singur model de difracție, sau chiar două astfel de modele unul lângă altul, Young a găsit o serie de bloburi sau puncte de lumină la distanță egală. Acestea au fost dispuse de-a lungul unei linii paralele

cu cea dintre găurile gemene din al doilea ecran. Și între fiecare dintre aceste puncte de lumină se întinde o regiune de întuneric.*

O singură concluzie a fost posibilă pentru Young: lumina din cele două găuri se combină aici pentru a produce un model sistematic de

* Celebrul experiment de interferență al lui Young este ilustrat și analizat mai detaliat în cârligul anterior al autorului, Maser s and Lasers, paginile 21-23. Acea carte face, de asemenea, parte din seria „Introducing Modem Science” publicată de Lippincott.

lumină și fără lumină. Prin urmare, lumina plus lumina ar putea produce fie întuneric, fie mai multă lumină, fie diferite gradații între ele.

Young a numit această interacțiune interferen, în mare parte pentru că regiunile întunecate reprezentau un fascicul de lumină anulând sau interferând cu altul. O astfel de acțiune, a început el să arate, ar putea avea loc numai dacă lumina ar fi un fel de mișcare ondulatorie.

În trei lucrări, în următorii trei ani, Young și-a prezentat concluziile despre interferența și natura ondulatorie a luminii. El a oferit o analogie simplă pentru a clarifica modul în care trenurile de valuri care interacționează ar putea produce în unele locuri o absență a energiei valurilor (întuneric) și în altele o creștere (luminozitate).

Imaginați-vă, a sugerat el, o serie de umflături care se mișcă uniform pe suprafața unui lac stili și intră într-un „canal îngust”. Apoi imaginează-ți „o altă serie egală de valuri” care sosesc în „același canal cu aceeași viteză și în același timp cu primul”.

r Rezultatele, a arătat el, trebuie să depindă de pozițiile relative sau fazele crestelor și jgheaburilor celor două Sisteme de valuri. Dacă timpul a fost de așa natură încât crestele primului set de valuri coincideau cu cele ale celui de-al doilea, atunci „trebuie să producă împreună o serie de elevații comune mai mari”, adică o amplitudine crescută.

Pe de altă parte, dacă „elevațiile [crestele] unei serii corespundeau dépréssion-urilor [jgheaburilor] celeilalte, ele trebuie să completeze exact acele dépressions.” În acest caz, fiecare tren de valuri l-ar contracara sau anula pe celălalt.

„Efecte similare”, a concluzionat Dr. Young, „au loc ori de câte ori două porțiuni de lumină sunt astfel amestecate. . .” Aceasta a numit-o „legea generală a interferenței luminii”. Poate că înțelegerea modernă ar prefera un alt nume, cum ar fi interacțiunea sau suprapunerea, decât interferența. Cu toate acestea, acesta din urmă este folosit peste tot și trebuie doar să ne amintim întotdeauna că include două interferențe opuse: constructive, când creste

consolidarea crestelor și jgheaburilor, rezultând o intensitate mai mare a valurilor; și distructiv, când crestele anulează jgheaburi și invers, rezultând absența energiei valurilor (întuneric).

Între maxime, unde prima condiție funcționează, și minimele, unde a doua operează, sunt regiuni intermediare în care lumina modulează între întuneric și luminozitate. Intensitatea peste tot depinde de relațiile de fază dintre undele care interacționează în acel loc anume.

Young, ca și Huygens înaintea lui, știa că două seturi de unde sonore de aproape aceeași frecvență ar putea interfera. Apoi au produs „bătăi" — creșteri și scăderi alternative ale zgomotului.

Folosind teoria sa ondulatorie a luminii, Young a continuat să țină seama de difracție. El a considerat că este un fel de interferență între (a) seturi de valuri care sunt îndoite pe măsură ce trec de marginile obstacolelor sau între acestea și (b) valuri care continuă neschimbate.

Pentru a susține acest punct de vedere, el a efectuat un test delicat și ingenios. Într-o grindă a pus o sârmă, zveltă ca un fir. În zona sa de umbră, primită pe un ecran, au apărut franjurile obișnuite de difracție. Apoi Young a stins lumina care trecea pe o parte a firului. Imediat, franjuri au dispărut.

Acest lucru, în opinia sa, a dovedit că franjurile au fost formate prin interferență între undele luminoase care trecuseră de ambele părți ale firului și au fost îndoite spre interior în timp ce făceau acest lucru. Dincolo de fir, în „zona de umbră", aceștia au interacționat, producând alternanța de lumină și întuneric tipică interferenței.

Young a luat în considerare și prin interferență franjuri care apar dincolo de geometria! zone de umbră ale obiectelor mici, în zonele care „ar trebui să fie" complet iluminate. Unele valuri de lumină, sugeră el, au ratat marginile opace și au continuat cursul lor, neîndoite. Alte valuri, totuși, doar au pășit acele margini și, astfel, au fost deviate ușor în zona iluminată, la fel ca

o piatră aruncată de-a lungul suprafeței apei stili poate sări după ce lovește acea suprafață. Franjurile din umbră, pentru Young, erau înregistrările de interferență ale acestor două seturi de valuri.

Interferență cu teoriile lui Young. Lucrările lui Young sunt acum printre marii clasici ai opticii. Dar la vremea lui s-au întâlnit cu neglijență și mai rău. În 1802, un articol din influenta Edinburgh Review ia atacat cu amărăciune. A batjocorit în special la ideea nenewtoniană a lui Young că lumina era un fel de mișcare ondulatorie:

„Este dificil să ai de-a face cu un autor a cărui minte este plină de un mediu atât de volubil și vibratoriu”, a scris un autor anonim. Young a răspuns cu un pamflet în propria apărare, dar nu a primit aproape nicio atenție.

Timp de un deceniu sau mai mult, ideile sale bogate și noi au rămas pierdute în umbră. Între timp, conducerea în optică științifică și studii luminoase a trecut în Franța și Germania.

Recenzia ostilă, pare acum sigur, a fost scrisă de HP Brougham, jurnalist, avocat și politician, ceva mai tânăr decât bărbatul pe care l-a atacat. Brougham publicase mai devreme o lucrare despre unele aspecte ale luminii și se considera o autoritate. Ani mai târziu a devenit Lord Cancelar al Angliei și un egal. A supraviețuit până la o vârstă înaintată în care, a remarcat unul dintre asociații săi, și-a pierdut puterile, dar și-a păstrat neclintirea nediminuată.

Ideile lui Young au făcut progrese numai după ce mai mulți oameni de știință francezi le-au preluat și le-au extins. Principalul dintre aceștia a fost Augustin Fresnel, un inginer obscur, în mare parte autoeducat în știință. El și-a început experimentele cu privire la difracție atunci când a fost eliminat din postul său guvernamental în timpul așa-numitei întoarceri de o sută de zile a lui Napoleon, înainte de Waterloo.

Pe parcursul a doar nouă ani, 1815-1824, Fresnel a făcut progrese istorice în analiza și aplicarea teoriei ondulatorii a luminii. El

a mers chiar dincolo de Young, pentru că el a arătat că interferența trebuie să aibă loc chiar și între undele secundare (ale lui Huygens) care provin din părți ale frontului de undă dincolo de cele pe care Young presupunea că ar fi implicate.

Young, de fapt, și-a exprimat surprinderea. Scriind omului de știință francez Ar în urmă, care îi prezentase lucrările lui Fresnel, Young a spus: „Dacă lumina are o tendință atât de mare de a diverge în căile razelor învecinate și de a interfera cu ele, nu văd cum scapă să fie stinsă. într-un spațiu foarte scurt.”

Concluziile lui Fresnel s-au bazat pe o matematică atentă! analiză. Cu toate acestea, și ei s-au întâlnit cu o opoziție puternică din partea unor părți ale instituției științifice franceze. Un eminent matematician, SD Poisson, a fost unul dintre cei reticente în a renunța la conceptul newtonian al particulelor zburătoare. El a spus, de fapt, „Dacă Fresnel are dreptate, atunci chiar în centrul umbrei îndepărtate a unui mic obstacol rotund ar trebui să găsim un punct de lumină brighi.”

Testul a fost făcut. Iată! — pata a apărut. Era necesar doar ca obstacolul să fie cu adevărat rotund și ca umbra să cadă pe un ecran la o distanță suficientă dincolo de el.

Asemenea pete arată aproape ca și cum o mică gaură ar fi fost găurită prin centrul micului disc rotund sau sferei care aruncă umbra. Desigur, dacă s-ar face o astfel de gaură, lumina care trece prin difracție ar fi răspândită și astfel ar arăta destul de diferit!

Măsurarea efectelor interferenței. Young însuși a arătat baza distanței dintre benzile brighi în interferență. „Când două porțiuni ale aceleiași lumini ajung la ochi pe căi diferite, fie exact sau aproape în aceeași direcție”, a scris el, atunci „lumina devine cea mai intensă atunci când diferența [între] rute este orice multiplă de o anumită lungime; și mai puțin intens în starea intermediară a porțiunii de interferență; iar această lungime este diferită pentru diferite culori.”

Această „o anumită lungime” extrem de importantă este de fapt lungimea de undă (1λ) a luminii utilizate. Cele patru cuvinte italice, de aceeași lumină, vor deveni clare în examinarea noastră ulterioară a coerenței.

Afirmația lui Young s-a bazat pe lungimile relative ale căilor de lumină implicate în interferență. Putem folosi și măsura timpului, comparând durata traveis-urilor undelor care interacționează de la sursa lor comună (lampa) cu ochiul sau ecranul unde se întâlnesc, interacționează și interferează.

Valurile de lumină galbenă, cum ar fi cele folosite de Young în experimentele sale de interferență, completează o oscilație într-o perioadă de aproximativ 2 x IO15 secunde. (Cinci sute de milioane de milioane de oscilații pe secundă!) Folosind prefixul jemto, care înseamnă 10 15 la fel cum centi înseamnă IO"2, putem spune că o oscilație completă durează 2 fs (femtosecunde). Aceasta devine unitatea noastră de timp de călătorie între sursă și ecran (sau ochi).

În acele regiuni în care diferențele de timp de călătorie între cele două seturi de valuri sunt 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12. . . . fs, vom găsi brighi maxime care înseamnă interferență complet constructivă. Pe de altă parte, în acest caz, unde diferențele de timp de călătorie sunt 1, 3, 5, 7, 9, 11. . . . fs, vom găsi minimele întunecate care înseamnă interferență distructivă.

Deoarece avem de-a face cu valuri a căror perioadă este de 2 fs, se găsesc minimele (întuneric) unde diferențele în timpul total de călătorie sunt 1/2, 3/2, 5/2, 7/2, 9/2 . . . ori perioada unei oscilații - și unde diferențele în lungimea totală a căilor de călătorie sunt aceleași fracțiuni ale unei singure lungimi de undă (1λ).

Diferențele dintre 0, 1, 2, 3, 4, 5 . . . ori o singură lungime de undă determină locurile bnghts; cele de 1/2, 3/2, 5/2, 7/2 . . . determina locurile întunericului. Astfel, 0, 1, 2, 3, 4, 5, . . . seria înseamnă că cele două trenuri de undă sunt complet în fază, în timp ce cele 1/2,

3/2, 5/2, 7/2. . . . senes înseamnă că cele două trenuri de valuri sunt total defazate.

Relațiile de fază sunt măsurate și în alte moduri. În electricitate, radio și alte ramuri ale tehnologiei, este obișnuit să se măsoare diferențele de fază sau identitățile în grade, atribuind 360° ca de obicei unui cerc complet sau unui ciclu complet (oscilație).

Figura 3-1 prezintă o undă luminoasă ca variații ale intensității câmpului electric în care se mișcă. Acestea sunt așa-numitele unde sinusoide. Axa dreptei indică un câmp zero; distanțele de mai sus indică cantități de potențial pozitiv; cei de mai jos, negativul.

figura 3-1 Urma unei unde luminoase, arătând crestele, jgheaburile și măsurătorile undelor în ambele lungimi de undă (λ) și în grade.

Astfel, o jumătate de lungime de undă sau perioadă de oscilație corespunde unei diferențe de fază de 180°; un sfert de lungime de undă sau perioadă până la 90°; o optime la 45° și așa mai departe. Cu lumină galbenă, am constatat că timpul de 2 fs a egalat o perioadă de oscilație completă; O diferență de 1 fs corespunde în acest caz la diferența de fază de 180°, 1/2 fs la 90°, 1/4 fs la 45° și așa mai departe.

Figura 3-2 prezintă două trenuri de undă egale cu o diferență de fază sau deplasare de 180°, sau jumătate dintr-o perioadă de oscilație. Aceasta este situația în care fiecare set de valuri îl anulează — interferează în mod distructiv — cu celălalt. Rezultat: întuneric.

figura 3-2 Interferență la lume^. Trenurile de undă Timo, de aceeași frecvență și amplitudine, se anulează reciproc atunci când (ca aici) sunt defazate cu lungimea de undă Уг sau 180°. Aceasta este „interferență distructivă”. Dacă diferența lor de fază ar fi de 1 lungime de undă (360°), s-ar întări reciproc, prin „interferență constructivă”.

Acum vine o întrebare crucială. Câte franjuri de interferență pot fi formate, așa cum le-a format Young, prin împărțirea și apoi reunirea părților aceluiași fascicul de lumină? Franjul strălucitor central provine, știm, din distanțele de călătorie și timpii de călătorie egali pentru ambele seturi de valuri. Următoarele două franjuri, una pe fiecare parte, provin din diferențe de o singură lungime de undă (sau o perioadă de undă, în timp). Cele două franjuri chiar dincolo de cele apar din diferențele de două lungimi de undă (sau perioade). Și așa mai departe.

Cu toate acestea, cu sursele de lumină disponibile până acum câțiva ani. numărul de franjuri distincte care se puteau forma la dreapta și

la stânga franjului central brighi era limitat. Cu cât numărul unei franjuri este mai mare, numărând din centru, cu atât arăta mai puțin distinct și mai puțin clar. În cele din urmă, franjurile îndepărtate se estompează complet într-o neclaritate de lumină.

De ce ar trebui să pară franjuri numărul 50, pe ambele părți, mult mai ușor și mai slab decât numărul 2? Luați cazul

lumină galbenă cu perioadă de oscilație de 2 fs. Trenurile de undă a căror interferență constructivă produce numărul 2 au o diferență de timp de doar o perioadă de oscilație sau 2 fs. Cei care interferează pentru a produce numărul marginal 50 au o diferență de timp de 50 x 2 fs sau 100 fs, care este la fel cu 10 ~ 13 secunde.

Cu alte cuvinte, undele de lumină generate cu o diferență de timp de 10~13 secunde au interacționat. Ar trebui să fie în fază, dar, într-un fel, marginile este slabă și slabă, de parcă interferența constructivă nu ar fi pe deplin la lucru.

Poate o diferență de timp de doar 10~13 secunde să facă atât de multă diferență? Poate și face, din cauza proceselor atomice haotice și neregulate prin care lumina este produsă în fire, în arce, în filamente și chiar în Soare, stele și toate sursele noastre obișnuite de lumină - înainte de lasere.

Procese luminoase nebunești, amestecate. Lumina din toate sursele comune este emisă în explozii individuale minuscule de către atomi separați și necoordonați. Fiecare astfel de explozie atomică abruptă sau parcele de lumină este finalizată în aproximativ IO"9 până la 10~8 secunde. Oscilațiile rezultate corespund unor trenuri de valuri cu o durată cuprinsă între aproximativ jumătate de milion și aproximativ cinci milioane de cicluri. Fiecare astfel de tren de undă are faza sau sincronizarea proprie, necoordonate cu restul fiind emise în jurul ei.

Ne ocupăm doar cu raze, nu cu raze de lumină. Fiecare fascicul, oricât de limitat, este de fapt un număr mare de astfel de trenuri de oscilații necoordonate, suprapuse și amestecate în faze. În mod repetat și la intervale de timp imprevizibile, există schimbări bruște ale relațiilor de fază în cadrul fiecărui fascicul.

Acest lucru stabilește limite severe pentru posibila extindere a efectelor de interferență între sub-razele luate dintr-un astfel de fascicul de lumină. Să presupunem că căutăm să vedem 2.000 de franjuri — aproximativ 1.000 de fiecare parte a franjurii centrale sau de ordinul zero. Dacă folosim lumină galbenă, ultimele franjuri (lagărul nr. 1000) vor trebui formate din

fascicule care interacționează a căror diferență de timp este de 2 x 10~12s și a căror diferență de distanță de parcurs este de 6 x 10~4m (sau 0,6 mm).

Chiar și astfel de diferențe sunt prea mari. Vor fi avut loc atât de multe explozii separate de emisie de lumină defazate în interval, încât nu pot exista relații consistente de fază de care depinde interferența vizibilă. La un moment dat, trenurile de valuri combinate ar putea avea o diferență de fază de 180°, producând întuneric. Apoi doar 10~los mai târziu, diferența ar putea fi 0° (luminozitate); apoi brusc 127°; și 36°; și 13°; și așa mai departe, mai departe, la intervale neregulate, în medie mai mici de o milioneme de secundă!

Nici un ochi uman, nicio emulsie foto nu poate înregistra vreun model consistent sau nivel de lumină în astfel de condiții. Rezultatul este doar un fel de pată sau neclaritate medie de lumină. De aici, franjurii se estompează într-o asemenea neclaritate când contele se îndepărtează suficient de centru.

Nimeni înainte de Young nu a reușit să combine fascicule de lumină cu o consistență sau coerență de fază suficientă. Acesta este motivul pentru care interferența a fost descoperită atât de târziu. Chiar și Young a reușit-o doar luând dintr-o parte a unei flăcări mici doar un fascicul îngust, apoi răspândind acel fascicul prin difracție, trecând două părți din acesta prin două găuri foarte apropiate una de cealaltă și, în cele din urmă, recombinând părțile, la un unghi mic, pe ecran.

Toate diferențele - în distanța de călătorie sau timpul de călătorie - au fost păstrate mici. Chiar și așa, numărul total de franjuri care puteau fi astfel formate de fiecare parte a centrului era limitat. În anii dintre lucrările lui Young și Fresnel și studiile lui Gabor — aproximativ un secol și jumătate — au fost construite și exploatate mii de interjerometre optice sensibile. Au folosit cele mai coerente și mai puțin haotice surse de lumină pe care le-ar putea dezvolta designerii. Cu toate acestea, cei mai buni dintre ei nu au putut forma mai mult de 100 până la 200 de franjuri distincte dincolo de marginea centrală care reprezenta timpul egal de călătorie al fasciculelor care interacționează.

Evident, coerența a fost greu de găsit, atunci când se folosea

ușoară! O definiție de lucru a acelei terni coerență pentru orice sursă de lumină dată a fost, de fapt, numărul de franjuri de interferență clar definite care s-ar putea forma din ea, sau mai degrabă din orice mică parte a acesteia.

Chiar și porțiunile din apropiere ale aceluiași arc sau flacără ar putea să nu ofere suficientă coerență. Acest lucru a fost rezumat în cuvintele lui Paul Drude, o autoritate în domeniul luminii, „deși diferența de fază este constantă pentru un număr mare de perioade, totuși neregularitățile acestor vibrații apar în intervale de timp atât de scurte încât impresii separate nu sunt produse în ochiul."

Sunetul poate fi produs într-o manieră consistentă și coerentă. La fel și undele radio. Lucrătorii din domeniul opticii aveau motive ample să privească cu invidie către colegii lor științifici mai norocoși din aceste alte regiuni. Numai în optică a rămas coerența o problemă arzătoare.

Clarificarea corală a coerenței. Conceptul de coerență este poate cel mai ușor clarificat prin analogia unui grup de cântăreți adunați într-un singur loc. Fiecare are o voce și o voință proprie. Începe să cânte atunci când picase, ceea ce picase și pentru o perioadă lungă sau scurtă de timp cât picase. Nimănui nu știe și nu-i pasă ce fac ceilalți. Rezultat: un amestec haotic și incoerent, la fel ca emisiile de lumină pe pământ sau din corpurile cerești.

Cu toate acestea, dacă, pe de altă parte, cântăreții sunt membri ai unui grup coral bine școlar, la un semnal de la dirijorul lor recunoscut, aceștia pot izbucni în cântec la unison sau la intervale bine armonizate. Nu trebuie să fii muzician pentru a detecta o mare diferență. Here este coerență, în sens acustic

Dennis Gabor, într-o perioadă de aproximativ 30 de ani după 1917, s-a familiarizat cu problemele legate de limitările lentilelor, difracția, interferența, coerența deficitară și altele asemenea. El era conștient și de încă un principiu optic de bază, menționat pentru prima dată aici. Ar putea fi numită Regula Reversibilității.

49

HOLOGRAFIE

Să presupunem că construim un sistem optic complex, trimițând lumină de la o sursă, S, prin diverse lentile, oglinzi, prisme și apernare, până când în cele din urmă cade într-un model pe un ecran la D, destinație sau alt capăt.

Acum, dacă am putea doar converti D într-o sursă care va trimite înapoi, în cealaltă direcție, un model de undă echivalent cu cel pe care D l-a primit anterior, atunci acea nouă lumină va reveni exact pe calea anterioară, dar în direcția opusă. De fapt, acum ar trebui să se concentreze la S o imagine corespunzătoare fostei surse de emisii de acolo !

În orice instrument sau sistem optic, lumina trebuie să se deplaseze de la capăt înapoi la început urmând exact urmele pe care s-a deplasat de la început până la sfârșit.

Acum, au fost făcute o mulțime de fotografii bune ale modelelor de franjuri produse de interferometrele optice în diferite condiții. Să presupunem că cineva a luat o transparență făcută dintr-o astfel de fotografie și a trimis lumină coerentă prin ea înapoi, în direcția din care veniseră fasciculele care, în primul rând, au dat naștere acestui model de interferență fotografiat.

Ce atunci? Ar putea cineva să obțină o imagine a fantelor prin care trecuseră fasciculele interferente? Sau ar putea fi folosite transparențe ale modelelor de difracție ilustrate de Grimaldi însuși,

prin intermediul unei astfel de reversări de lumină, pentru a forma imagini ale obiectelor mici și deschiderilor care le-au generat în primul rând?

Aceste întrebări sunt mai degrabă retorice decât realiste. Ele servesc aici ca indicii către direcția din care holografia avea să-și facă prima apariție modestă în anii imediat după sfârșitul celui de-al Doilea Război Mondial.

capitolul 4

Prezentarea lui

„Un nou principiu microscopic”

Nature, binecunoscutul jurnal săptămânal de știință al Marii Britanii, la mijlocul lunii mai 1948, a publicat o notă destul de scurtă. Titlul său a fost „A New Microscopie Principie”, iar autorul său – Dr. Dennis Gabor.

Acesta a fost primul anunț public al principiilor cunoscute acum sub numele de „holografie”, deși nici acel cuvânt, nici vreo asemănare cu el nu au apărut în cele nouă paragrafe ale articolului.

Acest „nou principiu”, așa cum a fost descris acolo, a fost realizarea unei înregistrări fotografice a unui obiect prin interferența dintre o undă primară de lumină și porțiunea coerentă a unei unde secundare, emisă (sau modificată) de acel obiect. Un detectiv optic ar fi putut considera termeni precum valul primar și secundar ca fiind obligații de urmărit până la Principiul lui Huygens, menționat anterior în această carte.

Cu câteva luni înainte de apariția articolului Nature, cererea pentru un brevet britanic fusese depusă pentru Dr. Gabor; și o cerere similară de brevet american, depusă pentru el cu puțin timp înainte de sfârșitul anului 1948, a fost acordată în 1949, cu numărul 2.492.738.

Din acestea și din alte surse, trăsăturile formei infantile ale

holografia poate fi reconstruită. Sunt deosebit de valoroase aici două lucrări tehnice destul de lungi și detaliate ale lui Gabor, care au apărut la începutul anului 1949 și din nou la mijlocul anului 1951 în Proceedings of the Royal Society of London. Împreună, aceste surse dezvăluie nu numai ceea ce intenționase Dr. Gabor să obțină, ci și – așa cum deseori în istoria științei – modul în care ceea ce s-a dezvoltat efectiv a diferit drastic de ceea ce a fost căutat inițial.

Până la momentul notificării sale istorice în Nature, Gabor devenise nu doar un doctor în inginerie, ci și un cercetător de știință cu reputație și distincție în Marea Britanie. El a scris o carte, The Electron Microscope, 1945 și a fost un expert versatil în multe domenii ale electronicii, comunicațiilor și teoria informației. Ca un fir de

aur prin numeroasele sale investigații a trecut un entuziasm central pentru ceea ce se numește optică fizică pentru a distinge! aceasta din optică fiziologică.

Primele speranțe pentru holografie. Gabor și-a descris „noul principiu al microscopiei” ca o metodă prin care „fronturile de undă reconstruite” ar oferi imagini noi ale obiectelor, pentru a realiza ceva care, de fapt, nu a fost niciodată realizat. Acel ceva era remediul defecțiunilor lentilelor — nu lentilele optice din sticlă, ci „lentilele” magnetice și electrostatice folosite atunci în microscoapele electronice.

Gabor, de fapt, spera că noul său principiu va vindeca bolile care afectează astfel de lentile prin procesul destul de amplu de a le face superflue - scăpa de ele - și de a realiza imagini electronice fără nicio procedură de focalizare a lentilelor. Dacă noul principiu ar fi atins ceea ce spera Gabor, ar fi înlocuit difracția și interferența ulterioară a fasciculelor de electroni cu îndoirea (refracția) unor astfel de fascicule prin intermediul acestor lentile de electroni defecte.

Vi se pare ciudat să discutăm despre fascicule și fluxuri de electroni ca și cum ar fi fascicule sau raze de lumină? Prin anii 1940

fizicienii știau de mulți ani că toate particulele subatomice se comportau în moduri uimitor de luminoase atunci când erau proiectate în fascicule în mișcare. Acest lucru a fost realizat cel mai ușor cu electronii, cele mai mici particule fundamentale care compun atomii.

Electronii erau sarcinile indivizibile de electricitate negativă despre care se știe că compun învelișurile exterioare ale atomilor, în jurul nucleului încărcat pozitiv relativ masiv. Fluxul de electroni în fire a constituit curenți electrici. Descărcările de electroni în vid și gaze de joasă presiune au devenit relativ ușor de creat și controlat.

Fasciculele de electroni puteau fi accelerate la viteze apropiate de viteza luminii însăși prin aplicarea unor tensiuni înalte, iar modelele de mișcare ale unor astfel de fascicule puteau fi controlate cu precizie, deoarece electronii au răspuns atât la câmpurile electrice, cât și la câmpurile magnetice. Astfel, grinzile ar putea fi îndoite (refractate).

Când sunt îndreptate către obiecte și deschideri mici, astfel de fascicule ar putea fi difractate la fel ca și cum ar fi unde cu lungimi de undă definite. Într-adevăr, principiile propuse pentru prima dată de fizicianul francez de Broglie, au arătat că cu cât viteza acestor particule minuscule este mai mare, cu atât impulsul lor este mai mare și cu cât acel moment este mai mare, cu atât lungimea de undă păreau să aibă mai mică.

Cel mai important, fasciculele de electroni de înaltă tensiune au prezentat lungimi de undă efective mult mai scurte decât cele ale celei

mai scurte lumini vizibile (violete), sau chiar decât cele mai scurte vibrații ultraviolete invizibile utilizabile, de altfel.

Cu o potențială de 50 de kilovolți, nu cu mult mai mult decât cea utilizată în multe tuburi de imagine televizoare, se puteau forma fascicule de electroni al căror comportament corespundea cu lungimi de undă de aproximativ o zece mii de nisip (10~4) față de lumina vizibilă. Implicațiile acestui lucru au fost extraordinare. Dacă microscoapele optice ar putea mări de până la 800 de ori, atunci microscoapele electronice ar trebui să poată mări de până la 800 de ori de 10.000 sau de 8.000.000 de ori! Și dacă microscoapele optice ar putea rezolva detalii separate de aproximativ 0,001 mm (10 6m), atunci

microscoapele electronice ar trebui să poată rezolva detalii până la 10'10m!

Microscoapele electronice fuseseră într-adevăr construite și operate. În anii 1940, ei au trecut cu mult înaintea instrumentelor optice mai vechi în imaginea celor mai mici obiecte. Cu toate acestea, la sfârșitul anilor 1940, ei au rămas cu mult în urma ceea ce ar fi trebuit teoretic să facă. De fapt, aceștia făceau doar de aproximativ 200 de ori mai bine decât omologii lor optici, în loc de 10.000 de ori și.

Obstacolul principal a fost așa-numita aberație sferică în acțiunea lentilelor electrice utilizate pentru refracția și focalizarea fasciculelor care zboară rapid. O astfel de aberație părea greu de eliminat sau chiar de redus într-o măsură semnificativă. Henee, în efortul de a face ca principiul lentilei să fie inutil în microscoapele electronice, Gabor a conceput acest nou principiu microscopic. Acesta a avut ca scop îmbunătățirea rezultatelor de la dispozitivele cu fascicul de electroni, nu de la dispozitivele cu unde luminoase!

Anii de după 1948 au adus de fapt mari câștiguri în eficacitatea celor mai bune microscoape electronice, chiar dacă nu au reușit să renunțe la „lentilele” lor electrice așa cum sperase Gabor. De fapt, într-un articol din 1967, el însuși a remarcat că puterea de rezoluție a obiectivului (lentilelor) microscoapelor electronice a crescut de peste treizeci de ori în aproximativ șaisprezece ani, astfel încât acestea să poată primi detalii sau separări de aproximativ 3,8 x 10" lom.

Gabor a prevăzut îmbunătățiri suplimentare. El a observat că, dacă un fel de „post-corecție optică” de-a lungul liniilor holografice ar putea fi încă aplicat microscoapelor electronice, acestea ar putea fi capabile să-și reducă puterea de rezoluție chiar și la un nivel cuprins între 1,5 și 2 x 10 10 m, „și așadar. pentru a rezolva ele înseле rețelele atomice.” (Cu alte cuvinte, pentru a face vizibilă prin intermediul imaginilor structura supremă a materiei solide.)

În timp ce prezenta carte era scrisă, un anunț de la Schenectady, New York, spunea despre o nouă tehnică în domeniul

microscopie tron, numită tehnică cu două fascicule. Mărise de o jumătate de milion de ori o secțiune de cristal de germaniu. Imaginile rezultate au dezvăluit în acel cristal un defect al rețelei de numai un atom lățime. Atât de aproape de a vedea atomii au fost aduse microscoapele electronice!

La lucru cu lumina. Noul principiu al microscopiei lui Gabor a fost de fapt aplicat numai luminii, deoarece prea multe obstacole au împiedicat utilizarea eficientă a acesteia cu fasciculele de electroni.

Figura 4-1 indică elementele esențiale ale reconstrucției timpurii a frontului de undă Gabor sau noul principiu al microscopiei, în acțiune cu lumina. În stânga este sursa de lumină, S, la fel de coerentă pe cât este disponibilă la acel moment. Trimite un fascicul ușor divergent printr-o deschidere a orificiului. La o mică distanţă în aval în acest fascicul este plasat O, obiectul care urmează să fie imagine.

Acest obiect este indicat aici printr-o serie de puncte, subliniind faptul că era în mare parte transparent. Era, de fapt, o mică transparență redusă, realizată dintr-o fotografie mai mare cu litere subțiri negre pe un fundal alb. Aceste litere subțiri difractau lumina care trecea prin marginile lor. Fiecare a împrăștiat lumina într-un model caracteristic propriei forme.

La placa de fotografie, P, fronturile de undă ale acesteia au difractat

figura 4-1 De la sursă, prin obiectul transparent, până la placa de fotografie; calea simplă a fasciculului holografiei Gabor.

lumina a interacționat cu cele ale luminii nedifractate care trecuse prin porțiunile clare ale microtransparenței. Rezultatul tuturor acestor lucruri – un model de interferență înregistrat pe emulsiune: producând zone întunecate unde a avut loc interferența distructivă și zone luminoase în care interferența fusese constructivă.

Doar acest lucru apare pe fotografia dezvoltată, ea însăși o transparență. Conține doar un model de interferență, nu o „imagine” focalizată a obiectului de la O. Aceasta a fost prima formă primitivă a hologramei de astăzi.

Ca toate hologramele de atunci, această origine a fost o înregistrare a diferitelor energii luminoase rezultate din interacțiunea a două sisteme de undă, numite de obicei unde. Lumina difractată de obiect a furnizat unda obiectului, în timp ce lumina nedifractată a furnizat unda de referință. Numai cu ajutorul undei de referință unda obiect ar putea să-și înregistreze informațiile, în termeni de zone de lumină și întuneric, pe emulsie de fotografie.

Gabor a numit înregistrarea rezultată un model de difracție. Când fotografia piate a fost dezvoltată pentru prima dată, rezultatul a

fost, desigur, un negativ transparent, lumină în regiunile unde predominase întunericul și întuneric acolo unde căzuse lumina. Printr-un proces familiar, un negativ al acestui negativ a produs transparența pozitivă, care a fost folosită pentru a reconstrui imaginea obiectului.

Figura 4-2 arată cum este generat un astfel de „model de difracție” holografie. Pentru simplitate, doar un punct, O, este afișat pe obiect. O linie de rază indică lumina care trece direct de la lampă, S, la O, unde este îndoită prin difracție, și ajunge la emulsión fotografică la X Este afișată o altă linie de raze, care trece direct de la S la X. Face parte din referință. val.

Unghiul dintre liniile razelor este mic, atât când părăsesc S, cât și din nou când se întâlnesc la X. În experimentele timpurii reale ale lui Gabor, a fost un unghi mult mai mic decât sugerat de această diagramă.

Este clar că distanța directă de la S la X este puțin mai mică

figura 4-2 Interferență la lume în holografia Gabor. Raza directă, nedifractată, interacționează cu raza difractată sau împrăștiată.

decât de la S la O și apoi la X. Henee, timpul de călătorie pentru lumină pe calea SOX este mai lung decât cel de-a lungul căii SX. Acolo unde această diferență de timp este 1/2 o perioadă de undă, interferența distructivă (întunericul) va apărea la O. În cazul în care, totuși, diferența de timp este de 1 perioadă de undă sau 2 sau orice alt număr întreg de perioade de undă, atunci interferența constructivă (luminozitate) rezultate.

Din nou, descoperim că întunericul (interferența distructivă) se găsește acolo unde diferența dintre undele care interacționează în termeni de timp (perioada de undă) sau lungime (lungime de undă, 1λ) este 1/2, 3/2, 5/2 ... sau altele. număr impar de jumătăți. Și luminozitatea predomină acolo unde acea diferență este un număr întreg de jumătăți, cum ar fi 2/2, 4/2, 6/2. . . . , care este aceeași cu seria numerelor întregi, 1, 2, 3. . . .

Cohérence în cea mai veche holografie. Pentru aceste eforturi timpurii, Gabor a folosit lumina de la lămpi cu arc cu mercur de înaltă presiune. Erau cele mai coerente surse disponibile la acea vreme. De fapt, o astfel de lampă a furnizat lumină a cărei lungime de coerență era de numai aproximativ 0,2 mm (2x 10_4m), în timp ce timpul sau durata de coerență corespunzătoare a fost mai mică de 7 x 10_13s.

Aceste prime holograme au fost formate de una dintre cele două culori principale emise de astfel de lămpi: fie violet de aproximativ 0,44

lungime de undă de microni sau verde de aproximativ 0,55 microni. Deoarece un micron este doar o milioneme dintr-un metru, aceasta însemna o lungime de coerență de aproximativ 360 de lungimi de undă cu

lumina verde sau aproximativ 450 cu violeta. Coerența fiind astfel restrânsă, a fost necesar ca toate elementele optice să fie plasate într-o singură linie, de-a lungul axei: lampa, filtrul care a eliminat toate, cu excepția culorii alese (verde sau violet), obiectul transparent și fotografia. piate în sine.

Pentru a menține unghiurile mici, Gabor a pregătit obiecte ultra-minuscule pentru aceste teste. Photographie réduction a fost folosită pentru a reduce un text tipărit la o transparență de doar câțiva milimetri pătrați în suprafață. Numai astfel diferențele reale în lungimea traseului și a timpilor de călătorie pentru cele două seturi de unde luminoase ar putea fi păstrate în sfera coerenței limitate.

Textul pentru primele procese istorice de către Gabor și asistentul său, I. Williams, a fost cel mai potrivit. Acesta a constat din numele, cu litere capitai, a trei a căror lucrare a format pietrele de temelie pentru acest nou efort:

HUYGENS

TANĂR FRESNEL

Cu litere subțiri, așezate unul deasupra celuilalt, acele trei nume au apărut într-o diapozitivă transparentă de aproximativ 2 mm pătrați.

Acest obiect minuscul a fost poziționat la aproximativ 50 mm de o combinație de lentile și orificii prin care venea lumina de la lampă. Aproximativ 550 mm pe cealaltă parte a obiectului a fost asigurată piata foto. Astfel, la aproximativ 0,6 m distanță separată lampa și foto-emulsie. Răspândirea razelor de la pinhole la fotografia piate a produs un model de difracție care a mărit de aproximativ 12 ori dimensiunile liniare ale obiectului.

Primele holograme au arătat inele strânge, linii și franjuri

Prezentarea „a Neiи Microscopie Principie”

în jurul numelor din imagine. Arătau oarecum ca fotografii sever și ciudat la focalizare. S-ar putea descifra numele, dar cu dificultate.

Hologramele de atunci au apărut nu mai puțin confuze și amestecate. De fapt, hologramele moderne difuze — după cum vom vedea — arată un haos aparent complet, fără nicio asemănare cu obiectele holografate.

Cum ar putea o astfel de ciudățenie optică să fie convertită înapoi într-o imagine utilă a obiectului original? Acest lucru a fost realizat în a doua etapă sau de reconstrucție. Gabor a luat această transparență aparent distorsionată și a introdus-o din nou în calea aceluiași fascicul de lumină, exact acolo unde așezase placa de fotografie neexpusă pentru primul pas. De data aceasta, însă, obiectul original (microdiapozitiv) a fost îndepărtat.

Acum fasciculul a trecut liber prin modelul de difracție transparent, care l-a redifractat, formând un front de undă reconstruit. Acest front de undă ar putea fi observat destul de ușor cu ajutorul unui ocular optic sau fotografiat cu o cameră plasată corespunzător. Rezultatul, în

ambele cazuri, a fost o imagine recunoscută a numelor lui HUYGENS de mai sus și FRESNEL de dedesubt și, de asemenea, a unei linii circulare subțiri sau a marginii care fuseseră plasate în jurul lor ca un cadru.

În mod ciudat, numele Tânărului din centru părea încă mai încurcat decât celelalte două. Gabor a știut curând de ce. Acesta a fost un efect legat de „gaura din mijloc” aparentă a umbrei de difracție a unui obiect circular, așa cum prevăzuse analiza lui Fresnel și Poisson se întreba după. Când s-a făcut o nouă încercare, cu marginea circulară îndepărtată de pe microdiapozitiv, numele de YOUNG a apărut în imagistica finală, la fel de clar ca și celelalte.

Uite, lume, fără lentile! Imaginile rezultate au fost departe de a fi perfecte. Au abundat defecte și mici distorsiuni. Totuși au fost

cu siguranță semnificativi în istoria opticii. De ce ? În primul rând, acestea au fost formate fără utilizarea lentilelor de focalizare (sau de imagistică). Singura lentilă implicată în oricare dintre etape – înregistrarea sau reconstrucția – fusese folosită pentru a modela fasciculul de la lampă înainte, nu după, să treacă prin obiectul transparent. Nu a fost folosită nicio lentilă între obiect și fotoemulsie.

Chiar și pentru inspecția frontului de undă reconstruit în a doua etapă, nu a fost nevoie să folosiți o lentilă. Putea fi văzut cu ochiul liber.

Gabor și-a fotografiat imaginile reconstruite de front de undă la diferite adâncimi. El știa, desigur, că această nouă metodă pe care a numit-o uneori diagrame de interferență și uneori diagrame de difracție, poate înregistra „obiecte tridimensionale, precum și piane”. Microdiapozitivele erau, evident, obiecte bidimensionale. Dar dacă se plasează două astfel de diapozitive transparente, A și B, în poziții diferite între sursa de lumină și fotoemulsie, atunci rezultatul final ar trebui să fie un front de undă din care un observator ar putea extrage fie imaginea lui A, fie imaginea lui B, depinde -spunând la modul în care și-a concentrat ocularul sau camera de observare.

Cele mai multe dintre deficiențele acestor holograme timpurii au apărut, a descoperit Gabor, din difracțiile nedorite cauzate de mici pete de praf sau de defecte minore ale lentilelor folosite pentru a modela lumina pe drumul de la lampă către microdiapozitiv. De fapt, chiar și defecte ale lentilelor folosite pentru a examina frontul de undă reconstruit, au cauzat probleme.

Părea, într-adevăr, că deficiențele noii metode de microscopie au apărut nu atât pentru că folosea imagistica fără lentile, cât pentru că păstra în continuare lentilele în roluri secundare.

Holograme bântuite. O scurtare majoră a acestor eforturi timpurii nu ar putea fi însă pusă pe seama lentilelor sau a petelor de praf. Imaginea

reconstruită nu a fost, din păcate, singură. A fost întotdeauna afectat de o fantomă sau a doua imagine. Aceasta a fost o imagine,

format în etapa de reconstrucție, aparent pe partea opusă a hologramei celei pe care a apărut imaginea dorită și, de obicei, la aceeași distanță aparentă de hologramă.

Când a observat o hologramă terminată, uitându-se prin ea către sursa de lumină, a văzut o imagine (numită imagine virtuală) plasată acolo unde stătuse obiectul original atunci când a fost făcută înregistrarea - adică între hologramă și lumină. Dar, din păcate, a existat și o altă imagine, o imagine inversată sau în oglindă a primei, formată pe partea îndepărtată de sursa de lumină – partea din care trebuia observată sau fotografiată holograma.

A doua imagine a fost numită imaginea reală. Paradoxal, a fost imaginea reală care, în primii ani, a fost considerată a fi fantoma sau cea nedorită.

Nu era nimic ciudat la aceste imagini gemene. Ele au apărut din natura duală sau operația difracției în sine. Finele și vârtejurile întunecate care au format diagrama de difracție (holograma) au acționat simultan ca două tipuri de lentile, deoarece au făcut ca o parte din fasciculul de lumină de iluminare să diverge și pe unele să convergă, într-o măsură similară. Fasciculele divergente au format, pentru observator sau cameră, imaginea virtuală plasată între sursa de lumină și hologramă. Fasciculele convergente, pe de altă parte, au format imaginea reală, pe partea de observator a hologramei.

Comentariul lui Gabor asupra acestor gemeni supărători a fost mai degrabă formai. El a remarcat că diagrama de interferență (holograma) nu poate face distincția între „schimbări de fază pozitive și negative în raport cu unda primară”. Acea undă primară este acum cunoscută mai des ca val obiect.

Atunci când folosește o hologramă timpurie, observatorul s-ar putea concentra, desigur, pe imaginea virtuală, aruncând astfel imaginea reală din focalizare. Dar, pentru că înregistrarea fusese făcută cu toate elementele optice într-o linie dreaptă, nu a putut obține o singură imagine

complet în afara drumului celuilalt. Nici nu a existat vreo modalitate de a le face să fuzioneze și să se întărească reciproc. Erau, de fapt, inversă unul de altul.

De ce „microscopie”. Gabor și-a dat la început denumirea noii tehnici, reflectând așteptările sale că va fi aplicată în curând în principal în

beneficiul microscopiei electronice. Există nume precum noul principiu al microscopiei și microscopia prin fronturi de undă reconstruite,

Una dintre capacitățile uimitoare ale metodei se referă direct la mărire și microscopie. Nu a fost necesar să se folosească aceeași lungime de undă a luminii, sau alte radiații, pentru etapa de reconstrucție, așa cum fusese folosită pentru etapa de înregistrare. O diagramă de interferență ar putea fi înregistrată de lumină de o lungime de undă și reconstruită de lumină cu o lungime de undă mai mare. Imaginea rezultată va fi apoi mărită automat cu același raport ca lungimea de undă mai lungă și cea mai scurtă.

Atâta timp cât atât înregistrarea, cât și reconstrucția s-au făcut cu lumină vizibilă, o astfel de mărire încorporată a trebuit să fie limitată, deoarece cea mai lungă lumină vizibilă (roșie) este mai mică de două ori lungimea celei mai scurte vizibile (violet). Totuși, intenția lui Gabor a fost să nu-și limiteze noua metodă la lumină.

Visul său, de fapt, a fost să înregistreze diagramele de interferență cu ajutorul fasciculelor de electroni și apoi să le reconstruiască cu ajutorul luminii vizibile coerente. Deoarece lungimea de undă a acestora din urmă ar putea fi de până la o sută de mii de ori mai mare decât lungimea de undă efectivă a fasciculelor de electroni, dr. Gabor spera la o mărire automată a acestui ordin extraordinar!

Dificultățile tehnice, mai degrabă decât barierele teoretice, au împiedicat această speranță să se realizeze. Nici la începutul anilor 1970 diagramele de difracție utilizabile sau hologramele nu se formează prin intermediul fasciculelor de electroni controlate. Rămâne adevărat, totuși, că reconstrucția imaginii poate fi realizată cu lumină de destul

Prezentarea „a New Microscopie Principie” cu o lungime de undă diferită de cea care a înregistrat holograma în primul rând.

Legătura reală a lungimilor de undă de lungimi foarte diferite a avut loc, de fapt, în direcția opusă. Nu între „unde” ultra-scurte de electroni și lumina vizibilă; dar între undele radio (radar) relativ lungi și lumina vizibilă. Prin intermediul unei metode sofisticate numite radar lateral, a fost posibil să se formeze un fel de diagramă de interferență sau hologramă. Când lumina coerentă trece prin aceasta, ea formează o imagine a terenului sau a suprafeței terestre din care a fost derivată diagrama radar.

„Hărțile” rezultate sunt extraordinar de clare și detaliate. Ele reprezintă minificări enorme – opusul măririlor. Această minificare corespunde, aproximativ, raportului dintre lungimile undelor radar responsabile de înregistrare și undele luminoase responsabile pentru reconstrucția finală a imaginii.

Dr. Gabor a avut dreptate când a numit metoda sa un „nou” principiu. Cât de „roman” s-ar dovedi a fi, nici măcar el nu putea ghici. Nici alții care l-au studiat, testat și meditat în ultimii ani ai anilor 1940 și în deceniul anilor 1950. Chiar și matematica considerabilă!

abilitățile, cunoștințele tehnice și imaginația care au fost folosite pentru a elabora noul principiu al microscopiei nu au dezvăluit mai mult decât o fracțiune din capacitățile care se aflau, bine ascunse, în el.

Istoria holografiei a fost marcată de o serie de surprize. Puteri nebănuite au fost găsite la îndemâna diferitelor modificări ale tehnicilor sale - aici și fascinația sa extraordinară și nedistenuabilă.

63

capitolul 5

O eră a explicațiilor și a explorărilor

Gabor continua! testându-și metoda cu ajutorul luminii mai degrabă decât prin intermediul fasciculelor de electroni. El a format noi diagrame de difracție folosind o altă microdiapozitivă. Acesta, într-un spațiu de numai 0,5 mm de sus în jos și cu puțin mai larg decât atât, a inclus numele mult reduse ale zece oameni de știință.

Pe lângă Huygens, Young și Fresnel, ca și înainte, au mai fost incluse și Newton, Faraday, Maxwell, Kirchhof, Planck, Einstein și Bohr. Toate acestea, în opinia bine gândită a lui Gabor, au adus contribuții majore la înțelegerea științifică a luminii.

Lampa folosită aici a furnizat lumină verde, lungime de undă 0,5438 microni. O lentilă a făcut ca un fascicul al acestei lumini să convergă, trecând printr-o diafragmă cu gaură. Diametrul său de numai 3 microni a reprezentat mai puțin de 6 lungimi de undă. Lumina moderat coerentă rezultată a călătorit cu aproximativ 18 mm mai departe, a trecut prin microdiapozitiv și apoi, cu 1,8 m mai departe, a ajuns la fotoemulsie.

Diagrama de interferență rezultată a fost înregistrată pe o zonă de emulsie de aproximativ 5x5 cm, de aproximativ 10.000 de ori suprafața microlamei în sine.

O eră a explicațiilor și a explorărilor

Legătura cu raze X. În documentul său substanțial din 1949, Gabor a spus că ideea generală a noii reconstrucții a frontului de undă în două etape i-a fost sugerată de așa-numitul microscop cu raze X. Acest lucru fusese conceput cu mai puțin de zece ani în urmă de eminentul fizician, Lawrence Bragg. Astfel, holografia este, de asemenea, legată de razele X, privite și ca oscilații electromagnetice, deși mult mai scurte și mai violente decât lumina.

„Microscopul” lui Bragg a trecut mai întâi razele X prin cristale. Modelele lor simetrice de aranjament molecular au produs modele distinctive de difracție pe plăcile de fotografie. Transparentele rezultate, ca pasul doi, au fost folosite pentru a difracta lumina. Aceste modele de difracție din „etapa a doua” ar putea fi apoi interpretate ca surse de informații despre geometria aranjamentelor moleculare din cristalele originale.

Gabor a remarcat că această metodă, datorită lui Bragg, a fost potrivită numai pentru explorarea structurilor cristaline și că nu a reușit să înregistreze două tipuri de informații pe care Gabor a căutat să le rețină: (1) despre fazele relative ale undelor luminoase difractate a căror interferență a fost marcat pe fotografia finită; și (2) despre geometrica! și proprietățile optice ale cristalelor examinate în sine.

Pentru a capta și a păstra astfel de informații, a indicat Gabor, noua metodă de microscopie a fost lansată după „un principiu nerecunoscut până acum”. Acest principiu este rezumat aici într-o formă triplă: (1) dacă se formează o diagramă de difracție prin iluminarea unui obiect cu lumină coerentă și (2) dacă se adaugă o undă de lumină de fundal coerentă, dar nedifractată, atunci (3) rezultatul Modelul (interferență) al energiei luminii va include informații complete despre „modificarea pe care a suferit-o valul în traversarea obiectului”.

Acest lucru arată clar că un model de difracție singur, indiferent cât de coerentă este lumina care îl formează, nu poate fi o hologramă. Numai atunci când o referință coerentă sau undă de fundal este combinată cu unda difractată poate avea loc holografia adevărată.

Procesul lui Gabor, de fapt, a înghețat în hologramă întreaga informație despre obiect. Aceste informații au fost dezghețate și furnizate sub formă de fronturi de undă reconstruite din care puteau fi extrase diferite imagini.

De fapt, după cum am văzut, aceste fronturi de undă conțineau mai multe informații decât s-a dorit cu adevărat – excesul luând forma unei secunde supărătoare sau imagini fantomă, care încă nu puteau fi dezlegate suficient de imaginile dorite.

Metoda lui Gabor s-a dovedit a fi dublă în mai multe sensuri. În primul rând, operațiunea de înregistrare a folosit două seturi de unde luminoase trasabile separat. Apoi, a fost nevoie de un al doilea pas, operația de reconstrucție, pentru a furniza informațiile. În cele din urmă, intenția lui Gabor fusese să folosească două unde diferite sau echivalente de undă: fascicule de electroni pentru înregistrare, lumină pentru reconstrucție.

Când Gabor a scris despre unda difractată ca traversând obiectul, a avut dreptate, deoarece în lucrările sale timpurii obiectul a fost întotdeauna o transparență care a fost traversată – adică trecută prin – de lumină. Astăzi, după cum vom vedea, unda difractată sau obiect este reflectată mai frecvent de obiectele din scena holografată. Dar fie că acțiunea este aceea de traversare sau reflectare, modificarea poate fi numită un fel de difracție.

Treziri de interes. Realizările tehnice reale ale noii metode de microscopie au fost limitate și curioase, mai degrabă decât aplicabile

în general. Cu toate acestea, valuri de interes au radiat într-o oarecare măsură din aceasta, în Marea Britanie și chiar până pe coasta de vest a Statelor Unite.

În anii 1950, noua metodă a făcut obiectul unor lucrări ale unor investigatori britanici precum James Dyson, Michael E. Haine, T. Mulvey și Gordon Rogers. De un interes deosebit astăzi este lucrarea lui Rogers.

Nu cu mult înainte de 1950, Gabor a ținut prelegeri la Dundee, Scoția, membrilor departamentului de fizică al University College de acolo.

Figura 5-1 Un important analist al holografiei, Dr. Gordon L. Rogers, la laboratorul său, acum la Universitatea din Aston, Birmingham, Anglia. Dr. Rogers ajustează aici un orificiu de știft pe un „interferometru cu prismă de transmisie". Laserul care furnizează lumină pentru el se află în cutia neagră cilindrică din spatele capului său. – Universitatea din Aston din Birmingham

Rogers, pe atunci membru al acelui departament, era printre ascultătorii săi. Gabor „a semănat semințele multora . . . idei", a scris Rogers mai târziu.

Rogers a început munca de holografie, studiind scrierile lui Gabor, Bragg și alții care lucraseră în domenii conexe ale opticii. Vezi Figura 5-1. Rogers a ajuns la perspective utile în înțelegerea proceselor holografice. Interpretările lui, mai puțin matematică! decât cele din Gabor, s-au dovedit mai ușor de înțeles și de construit pentru mulți.

Dezvoltând o analogie oferită de Gabor, Rogers a arătat că fiecare hologramă era practic un dispozitiv pentru focalizarea luminii prin difracție, mai degrabă decât prin refracție. Diagramele de interferență erau, pe scurt, două lucruri simultan: (1) lentile complexe de un tip necunoscut și (2) depozite de informații despre imagine. Era aproape ca și cum ar fi construit un proiector în care slide (imagine

figura 5-2 O „placă de zonă", așa cum a fost imaginată de Fresnel și realizată de Soret. Jorm-ul său țintă-lilțe cu greu seamănă cu o hologramă; totuși, cea din urmă este într-adevăr o varietate mai complexă a primei!

informația) și obiectivul (dispozitivul de focalizare) erau unul și același lucru!

Fresnel, și mai târziu omul de știință elvețian JL Soret (1827-1890), au atras atenția asupra proprietăților de tip lentilă ale plăcilor de zonă. Acestea erau modele – de obicei în cercuri concentrice, ca un fel de țintă, așa cum se arată în Figura 5-2. Părțile albe, sau transparente, lăsau să treacă lumina, difractând-o pe măsură ce trecea. Părțile negre sau opace absorbeau lumina care cădea asupra lor.

O placă de zonă, reținând acea parte a luminii care altfel ar interfera în mod distructiv cu porțiunea care trece prin, ar modela sau modifica de două ori acea din urmă parte. Unele dintre ele au fost făcute să convergă, să ajungă la un punct focal, dincolo de placa zonei. O altă parte a ei a fost făcută să diverge, astfel încât, văzută de un observator dincolo de placa de zonă, părea să se îndrepte de la un focar pe partea laterală a dozatorului cu plăci la sursa de lumină!

Astfel, placa de zonă a funcționat în același timp ca o lentilă convergentă și divergentă, iar aceste distanțe focale - cu focalizarea reală dincolo de placă și cu focalizarea virtuală pe partea sursei de lumină - au fost legate prin matematică simplă! ecuații la distanța dintre benzile întunecate și luminoase care compun placa de zonă.

O carte mult mai mare decât aceasta ar putea fi plină cu fapte și

perspective numai despre plăcile de zonă. Nu putem decât să subliniem că Rogers în 1950 a atras atenția colegilor de știință asupra faptului că noile holograme erau de fapt plăci de zonă generalizate. Mai târziu a extins și a clarificat această interpretare.

Noile nume și originile lor. Lucrările lui Rogers, publicate în Nature, par să aducă la tipărire pentru prima dată cuvântul holograma în sine. Anterior fusese folosită, dar numai în conversațiile și corespondența dintre Gabor, Rogers, Haine, Mulvey și Preston.

Prima mențiune despre hologramă sau holografie cu greu poate fi datată și plasată acum. Cu toate acestea, există înregistrări plăcute și amuzante care arată că ambele erau deja utilizate informal în 1949.

În septembrie a acelui an, Rogers din Scoția a scris o scrisoare neobișnuită lui Gabor în Anglia. Nu a călătorit pe o bucată de hârtie, pentru că Rogers, destul de consecvent, o transformase mai întâi într-o microdiapozitivă, apoi într-o hologramă pe care, împreună cu altele, o trimisese lui Gabor. Aproape sigur, așa cum a menționat însuși Rogers, aceasta a fost prima utilizare a noii metode de microscopie în comunicațiile umane. Here este acea scrisoare de istorie:

Stimate Dr. Gabor,

Vă scriu un scurt mesaj prin „holografie” care este Sistemul de transmitere a informațiilor prin hologramă. Am încredere că vei putea descifra acest lucru... Dacă nu te-ai gândit deja la această idee, s-ar putea să fiu primul care transmite informații prin acest mijloc.

Vă avertizez prin prezenta că unele dintre [alte] holograme sunt de obiecte tridimensionale, astfel încât întreaga imagine nu va fi focalizată deodată.

Aștept cu nerăbdare răspunsul dvs. olograf,

Cu stimă, GL Rogers

69

HOLOGRAFIE

Apoi, în ciuda presiunilor holografice către concizie, a existat o post-scriptie, adăugată pe 10 noiembrie: „PS: Holografia este un mijloc de comunicare foarte lent!”

Acest prim mesaj istoric arată cât de timpurie a fost întreprinsă holografia complet tridimensională. De asemenea, ajută la iluminarea celor două cuvinte neobișnuite și intrigante, hologramă și holografie.

Rogers a scris că el comunica prin holograf, așa cum ar fi scris altcineva că trimite un mesaj prin telegraf. Cu toate acestea, astăzi holograful este rareori folosit pentru a însemna diagrama de interferență în sine. În schimb, este folosită holograma.

Expresia întreaga imagine din scrisoare are un inel special. Ne reamintește că rădăcina greacă holo, care înseamnă întreg sau întreg, este sursa atât a AoZogramei, cât și a AoZografiei. Atât gramul (ca în Ingram, àiagram și așa mai departe), cât și graficul sau graficul (ca în photogra/^A sau photogm^Ay) se referă la procesul de scriere, desen sau așezare.

Produsul final al fotografiei este fotografia. Henee, de ce nu ar trebui ca produsul final al holografiei să fie holograful? Pentru că asta ar putea provoca confuzii inutile. Dr. Rogers i-a reamintit autorului prezentei cărți următoarele: „Un testament olograf este un testament scris în întregime în mâna testatorului și, ca atare, valabil în dreptul scoțian, chiar dacă nu este martor.”

De asemenea, o scrisoare sau o notă în întregime scrisă de mână a scriitorului ei este adesea numită olograf. Henee, era mai sigur să folosești holograma pentru dispozitivul nou și surprinzător numit pentru prima dată diagramă de difracție sau diagramă interjerene de către Gabor.

Cuvintele hologramă și holografie au apărut, dar rareori, în prinț ail în anii 1950. De fapt, dr. Rogers însuși își amintește că, din 1952 până în 1966, el însuși a scris în continuare despre proces ca „microscopie de difracție”. Apoi a acceptat și el ceea ce devenise în mod clar o preferință majoritară și „a trecut la holografie”.

70

O eră a explicațiilor și a explorărilor

Ambele cuvinte sunt cu noi pentru a rămâne. Unele dicționare moderne au definiții pentru unul, dar nu pentru celălalt. Random House Die-tionary al limbii engleze definește o hologramă parțial ca „. . . un negativ produs de o placă de fotografie de înaltă rezoluție, fără cameră sau obiectiv, lângă un subiect iluminat de radiații monocromatice, coerente, ca de la un laser: atunci când este plasat într-un fascicul de lumină coerentă. se formează o adevărată imagine tridimensională a obiectului.”

Mai multe despre „unde” holografiei. Considerând hologramele drept plăci de zonă generalizate, Rogers a reușit să stabilească anumite relații simple între distanțe importante.

Figura 5-3 prezintă într-o perspectivă simplă metoda Gabor de înregistrare holografică, iar Figura 5-4 prezintă procesul ulterior de reconstrucție din holograma finită. Din nou, de dragul simplității, obiectul este afișat doar ca o singură pată întunecată - ceea ce experții în optică consideră un punct de împrăștiere.

Acest punct P diferă sau împrăștie o parte din lumină. Lumina împrăștiată, interacționând cu cea neîmprăștiată, formează tipul de tip placă de zonă pe fotoemulsia din dreapta, plasată la

figura 5-3 Pasul 1. Înregistrarea sau construirea unei holograme.

HOLOGRAFIE

figura 5-4 Pasul 2. Citirea sau reconstrucția o/ o hologramă. Fronturile de undă reconstruite oferă două imagini: (a) imaginea „virtuală”, aparent dincolo de hologramă; (b) imaginea „reală”, între hologramă și observator.

Observator

distanța S de sursa de lumină însăși și la distanța Q de obiect.

Acum, când holograma finită este plasată din nou în fasciculul de lumină, distanța sa de acea sursă este H, care poate fi uneori diferită de S.

Observatorul, al cărui ochi este indicat în dreapta jos, este interesat și de alte două distanțe importante: V, distanța aparentă de la hologramă la imaginea virtuală (Pv) pe care observatorul o vede dincolo de hologramă și R, distanța de la hologramă. hologramă la imaginea reală, Pr, care se formează în spațiul mai aproape de el, pe partea hologramei au/ay de lumină.

Acest lucru face clar de ce, în acea etapă incipientă, observatorul care privea imaginea virtuală, Pv, a văzut și efectul imaginii reale, Pr; si invers. Toate acestea, precum și sursa de lumină, erau dispuse de-a lungul unei singure linii drepte, axa optică.

Au fost denumite cinci distanțe importante diferite: S,Q,H, V și R> Rogers a arătat că odată distanțele S,Q și H au fost

O eră a explicațiilor și a explorărilor

cunoscut, era ușor de calculat ce trebuie să fie V și R. El a dat rețete, sau ecuații, pentru fiecare. În formă simplă, acestea sunt:

Pentru reconstrucție, aceste holograme timpurii au fost de obicei plasate exact acolo unde fotoplaca fusese plasată pentru înregistrare. Henee S și H au fost egali, și astfel, din prima ecuație, V și Q trebuiau să fie și ei egali. Astfel, imaginea virtuală Pv a apărut la

aceeași distanță de hologramă pe care obiectul original fusese de pe placa foto.

O altă egalitate convenabilă a rezultat din aceste ecuații. Dacă razele provenite de la sursa de lumină au fost colimate - adică dacă s-ar fi folosit o lentilă pentru a le face aproape paralele, nici divergente, nici convergente, când au ajuns la obiect - efectul a fost același ca și cum sursa ar fi fost la o distanță infinită. . Acest lucru a făcut ca fracțiile 1/S și 1 /H să fie infinitezimale, adică zero.

În acest caz, V trebuie să fie egal cu Q și, în plus, R trebuie să fie egal cu minus Q. Aceasta înseamnă că imaginea reală Pr trebuie apoi să fie formată la fel de departe „în fața” hologramei pe cât se formează imaginea virtuală Pv „în spatele” acesteia. . Imaginile gemene, sau conjugate, Pr și Pv se formează, în aceste condiții, la distanțe egale față de hologramă, dar pe părți opuse ale acesteia.

Figura 5-4 arată, prin intermediul a doar două fine de rază, modul în care holograma diferă lumina care pare să provină din imaginea virtuală Pv. Alte două fine de rază indică cursul luminii difractate care formează imaginea reală Pr. Razele Pv diverg spre exterior pe măsură ce călătoresc de la hologramă; în timp ce razele Pr converg spre interior.

Acum, numele virtuale și reale capătă un nou sens. Prima este o imagine „ca și cum”, care nu este cu adevărat acolo unde pare (observatorului) să fie. De fapt, nu există raze Pv între hologramă și punctele aparente ale acelei imagini în sine. În

în același mod, ori de câte ori ne uităm într-o oglindă vedem o imagine virtuală a noastră – nu o imagine reală. La urma urmei, lumina care ajunge în ochii noștri nu a călătorit cu adevărat din spatele oglinzii, deși pare.

Lumina care formează ambele imagini, cea reală și cea virtuală, se deplasează între hologramă și ochiul observatorului sau lentila camerei antrenate pe hologramă. Undele de lumină dintre sursă (lampă) și hologramă sunt uniforme, nedifractate și simple. Foarte des sunt și plane (când fasciculul este colimat).

Holograma, și numai aceasta, reconstituie fronturile de undă, astfel încât imaginea reală să se formeze și cea virtuală să pară formată.

De obicei, imaginea virtuală este tratată ca fiind cea principală, în timp ce imaginea reală pare neclară și mult distorsionată. Există, totuși, modalități de a face ca imaginea reală să devină clară și clară și de a se concentra mai degrabă pe ea decât pe cea virtuală.

Holografia lovește coasta Pacificului. Cu „fascinație și puțin scepticism”, Paul Kirkpatrick, un fizician la Universitatea Stanford, a citit câteva dintre scrierile holografice timpurii ale lui Gabor, Rogers și alții. Kirkpatrick era un specialist în difracția de raze X și spectroscopie, așa că domeniul nu era cu totul nou pentru el.

Cum, se întreba el, ar putea holografia „să scoată din haos” ordinea necesară pentru formarea completă a imaginii optice? La urma urmei, a gândit el, „nu poți dezvălui ouăle, așa că de ce ar trebui să ți se permită să reasamblați o imagine spulberată?”

Cu toate acestea, împreună cu un student absolvent interesat, HMA El-Sum, Kirkpatrick a descoperit că, de fapt, o astfel de reasamblare improbabilă a fost realizată prin noua metodă de microscopie unde-jront reconstruită. Acesta, într-adevăr, a devenit titlul disertației din 1952, care l-a ajutat pe El-Sum să-și câștige doctoratul.

O eră a explicațiilor și explorărilor se înregistrează în fizică și l-a determinat mai târziu să se specializeze în multe aspecte ale holografiei.

Tot în 1952 a apărut un alt holograf american pionier. Albert V. Baez a publicat două studii informative: Microscopie de difracție cu referire specială la raze X și Puterea de rezoluție în microscopia de difracție. Baez a folosit shadowgram pentru ceea ce noi acum cali holograma. El a scris că metoda a realizat „reconstituirea unui obiect dintr-o fotografie a modelului său de difracție”.

Baez a creat o rețetă, sau o ecuație, pentru a ajuta experimentatorii să prezică când noua metodă ar putea sau nu putea fi folosită cu succes. El a luat în considerare cinci factori esențiali, fiecare dintre care putea fi măsurat: λ, lungimea de undă a luminii sau radiației utilizate; D, diametrul deschiderii prin care este trecut, sau ar putea fi trecut, între sursa sa și obiect; S, distanța de la acea deschidere la fotoemulsie; R, puterea de rezoluție a acelei fotoemulsii; și în final N, numărul benzilor centrale înregistrate ale modelului de difracție.

Baez a arătat că, pentru a face o hologramă bună, λ ori S ori N ar trebui să fie mai mare de 4 ori D ori R. În matematică! stenografie, aceasta poate fi scrisă

$$XSN > 4DR$$

Simbolul înseamnă, ca de obicei, este mai mare decât.

Declarația de inegalitate Baez poate fi folosită pentru a arăta de ce a fost posibil să se realizeze holograme acceptabile chiar și cu lumina oarecum incoerentă disponibilă la începutul anilor 1950, în timp ce nici astăzi cele mai bune surse de raze X disponibile nu sunt potrivite pentru realizarea de holograme bune.

Here sunt cifre aproximative pentru un tip de holografie destul de „înapoi” folosind lumină: λ este 5 x 10-7 m, S este 1 m, N este doar 100 Henee, partea stângă se înmulțește la 5 x 10~7 m2. Pe mâna dreaptă

parte, presupunem că D este IO"3 m (nu este o gaură foarte mică prin care să ne așteptăm să treacă lumina); și R este IO"5 m, sau 100 de

linii pe mm - rezoluție foarte scăzută conform standardelor actuale. Partea dreaptă (4 DR) se dovedește a fi mai mică de o zecime din partea stângă. Se poate face holografia Henee.

Dar luați în considerare razele X, chiar și în anii 1970. Here λ este redus la între o miime și o zece miimi din lungimea de undă a luminii. Coerența scăzută a emisiei de raze X înseamnă că un fascicul poate fi trecut cu greu printr-o deschidere, D, mai mică de 1 cm; iar N cu greu ar putea fi mai mare de 10, dacă atât de mare.

Astfel, partea stângă devine aproximativ o sutime din dimensiunea sa în cazul luminii. Pentru a face partea dreaptă și mai mică decât atât, ar trebui să găsim un film cu o rezoluție neobținută. Cele mai bune disponibile la începutul anilor 1970 nu coboară sub aproximativ 5 X 10~7m în rezoluție. Ñsau putem compensa folosind un S extrem de mare, sau distanța de la deschidere la emulsie, care trebuie parcursă de razele X.

Evident, holografia adevărată cu raze X implică mari dificultăți!

Înfrângere în mijlocul victoriilor. În Marea Britanie în cursul anului 1953, Gabor și asociații, după trei ani de muncă, au fost nevoiți să renunțe la efortul de a folosi metoda holografiei cu microscopia electronică. Multe dificultăți practice blocaseră drumul, inclusiv vibrațiile din interiorul instrumentelor și „fluxul” lent al părților interne. Holografia, incredibil de sensibilă la orice schimbare de distanță, a amplificat toate astfel de abateri.

S-a constatat, de asemenea, că fasciculele de electroni înseși au contaminat și au alterat dimensiunile obiectelor sub observație microscopică. Astfel de schimbări, de asemenea, au făcut ravagii cu imaginile care puteau fi reconstruite din hologramele astfel formate.

Renunțarea la efortul de a căsători holografia cu microscopia electronică a fost o dezamăgire. Nu s-a dovedit un regres decisiv cum-

vreodată. Microscoapele electronice au fost mult îmbunătățite începând cu 1953, deși pe alte linii decât holografia. De fapt, Gabor, într-o trecere în revistă a situației de la sfârșitul anilor 1960, și-a exprimat regretul că circumstanțele nu i-au mai permis să se întoarcă la efortul oprit în 1953. Deși acel drum nu mai era unul pentru el, el a privit în mod clar ca fiind fiind încă deschis către ceilalţi.

Rezumat la mijlocul anilor 1950. Într-o lucrare comună din 1956, Dr. Kirkpatrick și Dr. El-Sum au reunit multe din ceea ce se aflase până atunci despre holografie. Au numit-o stili metoda fronturilor de undă reconstruite. Kirkpatrick, totuși, și-a amintit că în discuțiile de laborator au folosit uneori un titlu mai colorat: Gaboroscopy.

Ei au subliniat că hologramele și lentilele obișnuite au mai multe în comun decât se presupunea adesea. Holografia, destul de clar, a fost un proces în două etape, bazat pe difracție atât în etapele de

înregistrare, cât și de reconstrucție. Cu toate acestea, ei au subliniat că formarea imaginii lentilelor obișnuite ar putea fi numită și un proces de difracție dublă.

Mai întâi, au observat ei, „lumina a fost difractată de obiect” și „apoi din nou la deschiderea obiectivului”. Marea diferență părea să fie că, la lentile, ambele difracții au loc aproape în același moment, în timp ce cu holograme a trecut mult timp între difracția pentru înregistrare și cea pentru reconstrucția frontului de undă.

Kirkpatrick și El-Sum au atras atenția asupra modului în care „informațiile importante de obicei se pierd” în fotografia obișnuită cu camera și obiectiv, deoarece filmul nu reușește să „captureze datele de fază”. Pe de altă parte, marea contribuție a lui Gabor a fost aceea de a arăta modul în care datele de fază, precum și datele privind intensitatea luminii pot fi surprinse și păstrate pe film.

Rezumatul lor al esenței Gaboroscopiei timpurii a fost următorul: „Când radiația împrăștiată de la un obiect este însoțită

[adică combinată cu] o radiație de fond coerentă și intensă, faza [luminii] rezultată este întotdeauna aproximativ cea a fondului [luminii] cunoscut. În acest caz, puține informații importante se pierd, iar a doua etapă duce la o imagine tolerabil de fidelă a obiectului. . .”

În această a doua etapă crucială, așa cum a menționat această carte, „holograma în sine acționează simultan atât ca lentilă pozitivă [convergentă] cât și ca lentilă [divergentă] negativă, fiecare echipată cu un obiect încorporat”. Acest obiect, desigur, este scena sau subiectul hologramei.

La fel ca Gabor, Kirkpatrick și El-Sum au căutat modalități de a pune capăt suprapunerii supărătoare a imaginilor rezultate din efectele lentilelor convergente (real) și divergente (virtuale). Deși au fost făcute o serie de propuneri complexe și ingenioase, urmau să treacă câțiva ani înainte ca o soluție simplă și eficientă să fie dezvoltată și aplicată în general.

Surse de lumină care se rotesc. Holografia era suprasensibilă la cele mai mici defecte și distorsiuni. Zgomotul optic enervant a rezultat din particulele de praf și din fiecare bule minuscule sau striații din lentile sau din baza filmului transparent în sine.

Căutând să reducă la tăcere un astfel de zgomot optic, El-Sum a conceput o sursă de lumină rotativă: un arc de zirconiu care a fost rotit în timp ce strălucea. Acest lucru nu a eradicat atât de mult toate defectele, cât a „untat imaginile zgomotoase atât de uniform pe emulsie, încât devin invizibile”.

În anii 1970, holografii se străduiesc încă să obțină imagini bune. Cu toate acestea, problemele acestor necazuri de pionier cu doar câțiva ani mai devreme, sună deja strâns. De ce primii muncitori la reconstrucția frontului de val și-au luat atât de multe probleme pentru

atât de puține rezultate aparente? Ei știau, la urma urmei, că „lentilele sunt foarte dezvoltate și abundente”. Cu toate acestea, știau și ei, așa cum spuneau Kirkpatrick și El-Sum, că „lentilele au limitările lor și poate fi depășite”.

capitolul 6

Asistență laterală:

De la radar cohérent la holografia modem

La mijlocul anilor 1950, Dennis Gabor a perfecționat un tip complex de matematică! analiză pe care a numit-o teoria matriceală a propagării luminii. Cu ajutorul lui, el ar putea da răspunsuri cantitative la cerințele procesului de imagistică. Acestea ajută la arătarea posibilităților inerente ale holografiei.

Conceptul de punct de imagine ca cel mai mic element dintr-o imagine este destul de general astăzi, datorită televiziunii. Tuburile de imagine din seturile americane, de exemplu, își formează imaginile prin intermediul a aproximativ un sfert de milion de puncte de imagine separate, dispuse în peste cinci sute de rânduri de sus în jos.

Matematica lui Gabor a arătat că, dacă un sistem optic este capabil să rezolve – să definească separat – un total de n astfel de puncte, atunci pentru a descrie pe deplin un câmp de lumină incoerentă, chiar și de o singură culoare, numărul de elemente de informație optică re· cerut ar fi de n ori n, sau r?.

Acesta este un număr enorm. De exemplu, chiar și pentru imagini la fel de grosiere ca cele ale tubului de televiziune, ar fi necesare aproximativ 62,5 miliarde de informații. Și dacă câmpul luminos incoerent

au fost albe sau multicolore, nu monocromatice, atunci ar exista și alte creșteri enorme ale cerințelor.

Cu toate acestea, teoria matricei, așa cum era de așteptat, a arătat calea de ieșire. Dacă câmpul luminos este atât monocromatic, cât și suficient de coerent, atunci numărul de informații indispensabile este redus de la n 2 la doar In.

Cât de mare este probabil să fie un astfel de număr n? În orice cameră sau instrument optic, numărul de puncte de imagine rezolvate pe planul imaginii în orice direcție este aproximativ același cu numărul de franjuri de interferență distincte care pot fi formate cu lumina utilizată.

Lumina folosită de Gabor pentru primele sale holograme brute ar putea forma între 100 și 200 de franjuri. Astfel, s-ar putea anticipa aproximativ 1002 până la 2002 puncte de imagine distincte pe fiecare, sau 10.000 până la 40.000 în fiecare. Acest lucru este suficient doar pentru imaginile cu tinichea, obiecte destul de simple.

Cu toate acestea, în mai puțin de 20 de ani, lumina extrem de coerentă emisă de laserele cu gaz a permis formarea a până la 106 (un milion) franjuri de interferență pe lățimea unei plăci foto. Ar putea fi înregistrate puncte de imagine Henee 1012 (un milion de milioane), sau mai mult de zece milioane de ori mai multe decât în cazul Gaboroscopiei timpurii.

Acestea sunt, de fapt, mai multe puncte de imagine decât pot fi gestionate pe o placă foto de dimensiune obișnuită, chiar și una de înaltă rezoluție. O astfel de placă foto, chiar dacă are o suprafață de un metru pătrat complet, poate rezolva aproximativ IO10 puncte de imagine separate, sau aproximativ un procent din numărul care i-ar putea fi, teoretic, furnizat de lumina laser-gaz, prin procesul de holografie.

Sistemele de lentile nu ar putea face aproape la fel de bine? Nu la o marjă largă, pentru cei mai buni dintre ei pot transmite informații luminoase suficiente doar pentru câteva milioane de puncte de imagine bine definite. Toate aceste informații ar putea, de fapt, să fie gestionate de o foto-emulsie cu granulație fină de doar câțiva centimetri pătrați în suprafață.

În concluzie, cele mai bune fotoemulsii disponibile le pot gestiona

doar o parte din informațiile detaliate pe care lumina laser le poate aduce prin procesul de holografie. Și sistemele de lentile, din cauza limitărilor lor inevitabile, rămân și mai în urmă. Cel mai mic blocaj din această triplă comparație este, evident, cel al sistemelor de lentile concepute pentru a focaliza imaginile pe planul imaginii. Acest lucru se aplică și sistemelor de lentile ale camerelor, ale microscoapelor, ale telescoapelor.

Holografia, prin evitarea limitărilor lentilelor, poate aduce la un mediu de înregistrare toate sau aproape toate informațiile care pot fi obținute teoretic dintr-un câmp de lumină coerentă. Aceste informații, după cum am văzut, includ nu numai informațiile despre intensitatea luminii, pe care sistemele obișnuite de lentile le transmit, ci și informațiile de fază, pe care nu o pot.

O hologramă realizată corespunzător ar trebui să furnizeze fiecare dintre cele n puncte de imagine pe care le poate forma mediul său de înregistrare, cu informații atât despre intensitatea undei luminoase (energia) în acel punct, cât și despre relațiile de fază acolo.

Coerența este cheia. În momentul în care Gabor și-a dezvoltat teoria matricei, sursele de lumină disponibile atunci erau atât de scăzute în coerență încât hologramele nu se ridicau peste nivelul simplelor noutăți optice.

Cu toate acestea, existau și alte radiații electromagnetice pe care oamenii învățaseră să le genereze în mod destul de coerent. Acestea erau undele radio, formate prin supratensiunile rapide și controlate a

miriadelor de electroni prin bobine, antene și tuburi. Această coerență a fost deosebit de importantă în domeniul microundelor utilizate pentru Sistemele de detecție radio jmd cunoscute sub denumirea sintetică de radar.

Radarul se bazează pe mici diferențe în ceea ce privește timpul de călătorie - față de rutele dus-întors. Puzele cuptoarelor cu microunde sunt transmise în direcții precise. Sunt împrăștiate — reflectate înapoi — de obiecte îndepărtate. Receptorul radio, care măsoară timpul luat de runda totală

deplasarea la c, viteza luminii, determină distanța obiectului care reflectă, precum și direcția acestuia.

Informațiile radar pot fi convertite într-un fel de cod consistent sau pot fi afișate vizual, la scară. În ambele cazuri, procesul este un fel de imagistică. Ca atare, este practic comparabil cu imagistica optică, așa cum știu de mult experții în radar.

Designerii sistemelor radar au căutat în mod constant modalități de a obține o definiție și o rezoluție mai bună. Unul dintre factorii limitativi a fost lungimea antenei radar, care a servit ca un fel de deschidere. La fel ca optica fotografiei, optica radar a suferit din cauza profunzimii de focalizare sau a profunzimii de câmp deficitare.

În anii 1950, un nou sistem radar remarcabil a fost dezvoltat de un grup de ingineri de știință din Michigan, în special la Laboratorul de radar și optică conectat cu Universitatea din Michigan. A ajuns să fie cunoscut sub denumirea mai comună de radar cu privire laterală, dar și prin altele mai semnificative - radar coerent și radar cu deschidere sintetică.

A realizat ceva extraordinar. A funcționat și a focalizat ca și cum antena sa ar fi fost atât de lungă cât întreaga cale de zbor a piane care o transporta pe teren pentru a fi cartografiată de radar!

Secretul radarului cu privire laterală a fost, în esență, că producea modele de interferență, prin combinarea undelor reflectate primite înapoi de la obiectele de la sol cercetate, cu un fundal uniform sau undă de referință, furnizată de setul de transmisie însuși. Acea undă auto-alimentată a rămas constantă ca frecvență și amplitudine. Cu toate acestea, undele primite au variat în fază în funcție de schimbările în totalul căilor de călătorie dus-întors. Astfel, undele combinate stabilesc bătăi. Uneori, unda reflectată ar anula unda de referință (interferență distructivă), iar alteori o întărește (interferență constructivă).

Frecvența în timp a acestor bătăi a variat în funcție de unghiul la care se afla obiectul care reflectă, în raport cu calea de zbor în linie dreaptă a avionului. Când zăcea un astfel de obiect

aproape moartă înainte, bătăile ar fi distanțate mult mai strâns decât atunci când stă în braț, adică într-un unghi drept față de linia de zbor.

Prin sisteme sofisticate care nu trebuie analizate aici, complexul de astfel de modele de interferență recepționat a fost transformat într-un film transparent alb-negru, în mod ciudat asemănător cu hologramele moderne. Când un astfel de negativ completat a fost plasat într-un sistem optic special pregătit și iluminat cu lumină coerentă, s-a realizat o transformare. Liniile și peticele aparent amestecate ale negativului au produs o imagine care arăta cu detalii clare trăsăturile terenului peste sau lângă care trecuse avionul în timp ce folosea radarul său lateral.

Nu numai că radarul cu privire laterală putea produce hărți care arătau în detaliu obiecte îndepărtate, dar, și mai remarcabil, a oferit o definiție excelentă a obiectelor de la sol relativ aproape de calea de zbor. Pe scurt, a scăpat de una dintre cele mai supărătoare limitări ale radarului obișnuit.

WE Kock, o autoritate în domeniul radarului și al proceselor de unde aferente, a spus că înregistrarea produsă de radarul cu privire laterală este, de fapt, o „hologramă". Funcționarea sa este asemănătoare cu cea a holografiei în care „fiecare punct mic de reflectare a luminii își generează propria placă de zonă, iar fiecare placă de zonă face mai târziu ca lumina coerentă să fie reconstruită exact în acel punct din spațiu de unde a emanat lumina".

Radarul cu privire laterală a oferit un stimul ușor, dar indubitabil, holografiei. Nu numai că următoarele progrese majore în holografie au fost paralele cu caracteristicile radarului cu privire laterală. Mai mult decât atât, progresele în holografie au fost făcute de bărbați care au lucrat mai întâi la noul sistem radar și care apoi au adus noile lor înțelegeri câștigate direct în holografie.

Emmett N. Leith, acum profesor de inginerie electrică la Laboratorul de radar și optică al Universității din Michigan, a fost unul din grupul care a dezvoltat radarul cu aspect lateral. În

Sfârșitul anilor 1950 și începutul anilor 1960 a început să lucreze la holografie. De asemenea, asociat intim cu progresele rezultate a fost Juris Upatneiks, inginer de cercetare la Michigan.

Upatneiks și Leith au fost perechea productivă care — după cum a subliniat JW Goodman, o autoritate — „a recunoscut asemănarea procesului de reconstrucție a frontului de undă al lui Gabor cu problema deschiderii sintetice [a radarului] și a sugerat o modificare a originalului lui Gabor. tehnică care a generalizat și îmbunătățit foarte mult procesul."

Nu mult după aceea, au mers mai departe și „au cuplat această nouă dezvoltare cu tehnologia laser emergentă pentru a perfecționa fotografia tridimensională” cu metode holografice. Rezultatul a transformat holografia dintr-o curiozitate destul de obscură și limitată a opticii în complexul de tehnici puternic, care avansează rapid, care este acum.

Se deschide o nouă eră. Începutul anilor 1960 formează un fel de Marea Diviziune în istoria holografiei. De atunci, noua artă a trecut de la o copilărie destul de slabă la o adolescență viguroasă, cu promisiunea unei maturități sănătoase de urmat.

În toamna anului 1961, Societatea Optică a Americii, reunită la Los Angeles, a inclus o lucrare intitulată New Techniques in Wave Front Reconstruction de Leith și Upatneiks. A fost doar prima dintr-o serie de revelări ale progresului lor.

Tehnica reconstruită a frontului de undă a lui Gabor, au subliniat ei, a rezultat de obicei în imagini deteriorate și zgomotoase. De fapt, punctele nedorite, sau zgomotul optic, de pe imaginile finale au fost de obicei la fel de puternice sau mai puternice decât petele sau semnele care aparțin imaginii adevărate.

Imaginile fantomă sau conjugate au fost cauzele principale ale acestei zgomote devastatoare. Cu toate acestea, fantomele erau aparent inevitabile atâta timp cât metoda lui Gabor de înregistrare în linie continua să fie utilizată. În lucrarea lor, Leith și Upatneiks au propus două metode, derivate

De la radar cohérent la holografia modem

din teoria comunicațiilor, pentru alungarea imaginilor fantomă din imaginile dorite.

Apoi, într-o ziare mai lungă, un an mai târziu, au dezvăluit mai multe detalii. Folosind „Fronturi de undă reconstruite și teoria comunicării” ca titlu, ei au prezentat progrese care justifică concluzia ulterioară a lui WE Kock că au „adaptat „offset-ul”. procedura de radar cu privire laterală pentru a realiza holograma lor istorică cu două fascicule.”

Ei, de fapt, împărțiseră fasciculul de la sursa de lumină în două fascicule separate. Se trecea, ca și înainte, prin obiect (în acel moment încă o mică transparență). Celălalt, numit fascicul de referință, a ocolit complet obiectul. În schimb, a fost dus cât mai direct pe suprafața de fotoemulsie, unde a fost reunit cu celălalt fascicul, acum modificat sau difractat de obiect. Modelul obișnuit de interferență holografică a fost astfel înregistrată fotografic.

Noua tehnică a necesitat o oarecare îndoire a fasciculului de referință pentru a-l ține departe de obiect. Acest lucru a fost realizat la început prin intermediul unei prisme simple, ca în Figura 6-1. Deoarece lumina era aproape monocromatică, prisma nu a răspândit-o într-un spectru sau un afișaj curcubeu.

Cifra noastră sugerează aproximativ franjurile rezultate, în mod tipic

figura 6-1 Separarea fasciculului de referință și a fasciculului obiect i-a permis lui Leith și Upatneikj să dezlege cele două imagini de hologramă: virtuală și reală. Aranjamentul de înregistrare este văzut aici.

figura 6-2 O separare cea mai satisfăcătoare în acțiune. Razele divergente care par să provină din imaginea virtuală sunt acum eliminate din razele convergente care îmbracă imaginea reală. Un observator nu le poate vedea pe amândouă în același timp.

model zona-placă, format în emulsie. Este clar, de asemenea, că fasciculul obiectului și fasciculul de referință vin împreună la un unghi mic sau ascuțit atunci când se întâlnesc pe acea suprafață. Un rezultat al reuniunii unghiulare este o distanță între dozatoare a benzilor de difracție-interferență de pe hologramă. Celelalte lucruri fiind egale, cu cât acest unghi este mai mare, cu cât dozatorul este distanța rezultată. (Cel mai apropiat posibil, de fapt, rezultă atunci când cele două fascicule sunt făcute să se întâlnească la un unghi de 180°, adică se apropie de fotoplacă în direcții exact opuse, una dintr-o parte, cealaltă din cealaltă parte!)

Leith și Upatneiks au descoperit că și-au putut gestiona destul de bine metoda de angulare sau de compensare, datorită emulsiilor foto cu granulație fină. Marele câștig, sau câștig, a devenit evident în faza de reconstrucție, indicată în Figura 6-2. Încă o dată, ca și înainte, holograma, care servește ca o zonă complexă de piat sau rețea de difracție, este iluminată de o singură sursă de lumină. Și din nou,

ca și înainte, două seturi principale de raze ies, prin difracție, din hologramă - unul convergent, celălalt divergent.

Totuși – și asta a făcut marea diferență – observatorul putea vedea doar un set de aceste raze la un moment dat. Cei doi ochi, indicați în dreapta, dezvăluie această despărțire mult căutată la locul de muncă. Mai sus, Observatorul V se uită în hologramă și vede sau pare să vadă imaginea virtuală Pv dincolo de ea. Observatorul R, însă, privind și el spre hologramă, vede imaginea reală Pr în spațiul dintre ea și el însuși. Și niciun observator nu poate vedea mai mult decât o singură imagine din aceeași poziție.

Astfel, fantomele au fost exorcizate sau înhumate, pentru beneficiul etern al holografiei. Aproape de când holografii au lucrat, destul de deliberat, cu fascicule separate, extrase dintr-o singură sursă de lumină, apoi reunite „în ultimul moment” pe sau în fotoemulsia însăși.

Cele mai bune rezultate apar atunci când fasciculul de referință conține o putere luminoasă mai mare decât fasciculul obiectului, chiar

și de trei până la cinci ori puterea acesteia. Unii teoreticieni, de fapt, privesc fasciculul de referință ca pe un fel de undă purtătoare care, la fel ca în radio, este modulate pentru a transporta un mesaj – acel mesaj fiind dat de fasciculul obiectului difractat.

Leith și Upatneiks, folosind matematică dificilă și comentarii, și-au legat holografia cu două fascicule, în afara axei, cu comunicarea modernă și teoria informației.

În anul următor, 1963, au anunțat succesul în realizarea de holograme cu transparențe de tonuri continue. De fapt, ei au produs imagini bune din două tipuri de obiecte care depășeau anterior puterile holografiei: (1) cele compuse în întregime din fine subțiri albe (transparente) pe fundaluri în mare parte negre sau întunecate și (2) cele care conțin zone de continuu. și tonuri modulate în toate grade de la destul de deschis la destul de întunecat.

Imaginile formate din holograme de al doilea fel au fost numite „comparabile ca calitate cu imaginile tipărite de o convenție.

proces de semitonuri.” La fel de bune, cu alte cuvinte, ca imaginile reproduse în reviste sau ziare prin binecunoscutul proces semiton sau punct.

Laser și hologramă – împreună în sfârșit. La sfârșitul anului 1963, Leith și Upatneiks au dezvăluit care este probabil cea mai mare contribuție a lor la arta holografică - utilizarea noului maser optic, sau laser, ca sursă de lumină. La un pas, coerența extrem de importantă a fost atinsă într-o măsură niciodată abordată până acum nici măcar de departe.

De la un coleg, BA Vander Lugt, Leith și Upatneiks aflaseră „valoarea laserului cu gaz pentru o sursă de lumină”. Au început să folosească un astfel de laser, tubul său care dă lumină umplut cu un amestec de heliu și gaze neon. Lumina constantă, fiabilă și destul de coerentă a laserului era portocalie, lungimea sa de undă fiind de 0,6238 microni.

Astfel de lasere cu gaz erau, de fapt, mult mai tinere decât holografia în sine.* Laserele cu gaz fuseseră operate cu succes cu mai puțin de trei ani înainte ca Leith și Upatneiks să înceapă să le aplice în holografie.

Astăzi pare că laserele și holografia ar fi fost făcute unul pentru celălalt. Cu toate acestea, în perioada de dinaintea acestei uniuni fertile, unii observatori s-au întrebat exact ce utilizări practice vor fi găsite vreodată pentru lasere. S-a spus de către un înțelept că laserul a fost un răspuns excelent în căutarea unei probleme. Între timp, holografia fusese un complex de probleme în căutarea unui răspuns grozav – o mai mare coerență a luminii.

Leith și Upatneiks au comentat cu precauție caracteristică. Lumina laser a adus holografiei, au observat ei, „strălucire considerabilă, coerență spațială și monocromaticitate”. Ultimul cuvânt cu șapte silabe

înseamnă că lumina unui laser care funcționează bine este concentrată - la sau foarte aproape de o singură lungime de undă (λ).

* Vezi cartea autorului prezent, Maseri și lasere, parte a aceleiași serii, pentru o simplă trecere în revistă a istoriei și teoriei laserelor, atât gazoase, cât și solide.

Coerența spațială înseamnă, după cum am văzut, că se pot forma un număr mare de franjuri de interferență distincte.

Hologramele dezvăluite de Leith și Upatneiks în 1963 ar fi putut fi realizate, credeau ei, chiar și cu surse de lumină pre-laser. Cu toate acestea, majoritatea hologramelor semnificative realizate de la mijlocul anilor 1960 ar fi putut fi formate de nicio sursă de lumină cunoscută, în afară de lasere.

Leith și Upatneiks au procedat pas cu pas cu holografia lor iluminată cu laser. Au folosit mai întâi, așa cum făcuse Gabor, niște transparente mici, reduse din fotografii mult mai mari. Un microdiapozitiv timpuriu avea 1,5 cm înălțime. Acesta purta în litere transparente de numai 1 mm înălțime pe un fundal întunecat, acest text destul de criptic:

MARC ȘI DREPTĂ NOMOGRAFICĂ . . .

Lumina laser cu gaz, după ce a fost difractată de acest obiect, a ajuns la fotoemulsie, la aproximativ 65 cm distanță. Acolo a interferat cu fasciculul de referință care, după cum sa menționat, fusese îndoit, astfel încât să evite complet alunecarea.

Cea mai impresionantă a fost lipsa relativă de zgomot în imaginile formate de holograma rezultată. Fotografiile făcute din ele erau suficient de bune pentru a fi reproduse în cărți și articole de reviste.

Mai mult interes uman iradiază din prima hologramă publicată de tonuri continue realizată de Leith și Upatneiks. Obiectul, în acest caz, fusese un mic transparent, de aproximativ 1,5 cm înălțime, redus dintr-o fotografie a unei fetițe încântătoare în jachetă și bonetă, stând lângă un copac.

Fasciculul de lumină originat de laser a fost difractat de această transparență, apoi aproximativ 1,3 metri mai departe a ajuns la emulsie, unde a interferat cu fasciculul de referință. Holograma rezultată a furnizat imagini suficient de bune pentru a fi fotografiate și

reprodus in imagini de 10 cm inaltime, placut fara zgomot si defecte.

Astfel de rezultate remarcabile au susținut sugestia oferită de Leith și Upatneiks - că noile tehnici „ar trebui să încurajeze dezvoltarea de aplicații practice ale procesului de reconstrucție a frontului de undă”, numită acum holografie pe scurt.

Ei înșiși au continuat să lucreze la diverse aplicații și alte inovații. Au realizat mai multe (triple), holograme separate pe o singură emulsie de fotografie. Fiecare obiect sau scenă separată a fost înregistrată printr-o expunere diferită pe aceeași placă. Între expuneri, a fost rotit cu aproximativ 120°, o treime dintr-un cerc complet.

Holograma terminată părea în ochi ca niciuna dintre cele trei originais. Dar ar putea reconstrui imaginea oricăruia dintre ele, doar prin poziționarea la unghiul corespunzător față de reconstrucția sau citirea fasciculului de lumină laser.

Atunci, și și astăzi, o asemenea ispravă generează mirare. Cum pot fi stocate mai multe imagini separate, fără interferențe sau diafonie? De fapt, modelul pentru fiecare avea în comun cu modelul pentru ceilalți doar faptul că toate fuseseră înghețate – deși în direcții unghiulare distincte – în același mediu molecular: emulsia.

„Diferitele imagini reconstruite”, au declarat Leith și Upatneiks, „vor fi separate dacă modelul marginal al fiecărei holograme are o orientare diferită”.

Deși aceste progrese decisive în holografie au dus toate la imagini holografice într-o singură culoare, Leith și Upatneiks au menționat în aceeași lucrare că lucrează și la un proces de reconstrucție a frontului de undă care ar trebui să producă imagini în culori adevărate. (Capitolul final va trece în revistă elementele esențiale ale mai multor metode propuse pentru holografia multicoloră)

capitolul 7

Adăugarea de difuzie: confuzie la bun efect

Avansurile au continuat într-un ritm rapid. Până în primăvara anului 1964, Leith și Upatneiks au dezvăluit câștiguri care chiar și acum par să rivalizeze cu aproape toate celelalte din holografia anterioară:

În primul rând, au difuzat (amestecat) în mod intenționat lumina laser coerentă înainte de a o trece prin micile fototransparente în drum spre emulsie. Apoi, au făcut holograme cu scene tridimensionale compuse din diferite obiecte opace separate, mai degrabă decât din transparente.

Difuziunea a fost, de fapt, numele jocului în ambele cazuri. În primul rând, s-au folosit foi de difuzie sau plăci de împrăștiere. Aceste plăci de sticlă neregulate sau aspre au trimis undele de lumină coerente în toate direcțiile. Astfel a fost asigurat un fundal de iluminare netezit, uniform brighi pentru folii transparente. În al

doilea caz, suprafețele reflectorizante neregulate ale obiectelor opace au făcut în sine difuzarea.

În toate cazurile, fasciculul obiectului, în momentul în care a întâlnit fasciculul de referință la emulsie, reprezenta lumină care fusese difuzată și amestecată în prealabil. Rezultatul a fost drastic

figura 7-1 Difuzarea deliberată face parte din acest aranjament holografic, analizat de Dr. Dennis Gabor la tablou. Difuzorul din sticlă jrosted asigură iluminarea uniformă a obiectului transparent — și o hologramă complet haotică în buclă. — CBS Laboratories, Stamford, Connecticut

modificarea aspectului și caracterului hologramelor. Păreau confuzi dincolo de orice recunoaștere. Nu mai putea să arate un punct special de pe hologramă și să spună: „Here este site-ul informațiilor optice despre o anumită literă, cuvânt sau element din transparență”. Nici nu s-ar putea alege niciun loc pe care holograma să concentreze informațiile despre o parte a unuia dintre obiectele opace într-un ansamblu tridimensional de astfel de obiecte.

Holografia difuză — holografia de astăzi — pare astfel mult mai surprinzătoare și mai improbabilă decât toate cele care au precedat-o. Un aranjament simplu pentru holografia difuză a subiecților transparente este prezentat în Figura 7-1 de Dr. Dennis Gabor, părintele holografiei. Indicatorul lui indică sursa de lumină laser. Lumina, deplasându-se spre dreapta, este făcută mai întâi să diverge printr-o lentilă concavă, apoi colimată, sau îndreptată, de una convexă.

Partea superioară a acestei lumini colimate devine referință

fascicul, reflectat de două oglinzi către fotoemulsia din dreapta. Partea inferioară devine fasciculul obiectului. Este difuzat mai întâi de o sticlă mată, a cărei suprafață rugoasă este prezentată clar în schiță. Apoi, lumina difuză trece prin transparență, este difractată de aceasta și ajunge astfel la emulsie, unde interacționează cu fasciculul obiectului nedifuzat, producând „diagrama de interferență” esențială.

Atunci când difuzia este astfel integrată în diagrama de interferență, holograma are un aspect distinctiv. Leith și Upatneiks spun că astfel de holograme arată „un amestec de pete, bucăți și spirale”. Ei par, de fapt, ca și cum ar fi fost insuficient afectați de zgomotul optic și ca și cum nu ar fi putut niciodată să formeze o imagine de înțeles. Cu toate acestea, atunci când sunt iluminate în mod corespunzător de lumină laser nedifuzată, ele reconstruiesc un front de undă care formează imagini care sunt precise și în mod plăcut lipsite de distorsiuni.

Dar obiectele tridimensionale, mult mai importante acum decât transparența ca subiecte holografice? Figura 7-2 prezintă elementele esențiale simplificate într-o diagramă furnizată de Prof. Leith.

Oglindă

Raze reflectate de obiect

Placă Fotografie

Obiectul fotografiat

figura 7-2 Elementele esențiale ale holografiei moderne, mult simplificate. Obiectul opac — vaza și florile — reflectă lumina difuz pe placa de fotografie.—Dr. EN Leith și Juris Upatneiks, Universitatea din Michigan

Here obiectul opac este o vază mică cu flori. Laserul se află „în afara scenei" în stânga. Este sursa celor două fascicule separate, arătate de raze paralele.

Deasupra este fasciculul de referință, R, reflectat de o oglindă către fotoemulsie din stânga jos. Mai jos se mișcă O, fasciculul obiectului, luminând vaza și florile tridimensionale. Fiecare punct de pe suprafața vazei sau a florilor, în măsura în care lumina ajunge la el, reflectă părți din acea lumină către fiecare parte a plăcii foto. Aceasta este difuzie completă prin reflexie, genul care are loc în mod constant în jurul nostru - genul la care pielea noastră este deosebit de bună.

Luați în considerare doar un punct de suprafață A pe o floare. Imaginează-ți că placa foto din stânga jos a fost înlocuită cu o fereastră din sticlă transparentă. Ai putea să te uiți prin orice parte a unei astfel de ferestre și să vezi în continuare punctul A de pe floare. Lumina a fost reflectată de A în toate părțile zonei fotoplăcii sau ferestrei.

Difuzia poate fi produsă de un corp transparent rugos sau de un corp reflectorizant neneted. În ambele cazuri, lumina este făcută să treacă din fiecare punct de pe corpul difuzor către fiecare punct din zona fotoemulsiei. Aceasta înseamnă ceva destul de remarcabil: fiecare punct de pe holograma finită trebuie să includă informații despre toate părțile obiectului, în măsura în care acele părți erau vizibile din acel punct al plăcii foto!

Nu e de mirare, deci, că hologramele difuze nu prezintă nicio asemănare cu formele sau obiectele din scenele pe care le înregistrează. Leith și Upatneiks au spus că sunt complet omogene. Acest lucru poate fi văzut pe holograma complet difuză din Figura 7-3 — un model dens de texturi de piper și sare, împletite cu inele, ca și cum o mână de pietricele ar

fi fost aruncate într-o piscină pe care o briză puternică forma o rafală. design de mici ondulații.

Întreaga complexitate și aparent haos, totuși, sunt relevate doar prin extindere, ca în Figura 7-4. În stânga este holograma completă, iar în dreapta un segment minuscul mărit de o sută de ori.

figura 7-3 Strânge confuzie a unei holograme difuze este cu adevărat o nebunie cu o metodă în ea Nimeni nu ar putea prezice, din bucla la o astfel de încăierare, ce Jffnd de imagini va reconstrui. Dar recreează un front de undă cu cele mai multe caracteristici de lifting!—EN Leith și Juris Upatneiks, Universitatea din Michigan

figura 7-4 Stranietatea generală a unei holograme difuze (ffsub'f este depășită de ciudățenia detaliilor, cum ar fi această mărire de 100 de ori a unei mici părți a hologramei.—EN Leith și Juris Upatneiks, Universitatea din Michigan

г.

и

Chiar și această mică confuzie conține, totuși, informații codificate pentru imaginea completă, sau imaginea, a scenei holografate.

"Complet?" se poate întreba cineva. „Cu siguranță, deoarece nu este decât o bucată din hologramă, poate reprezenta cel mult o bucată din imaginea completă?” Răspunsul, totuși, este că chiar și această parte fracțională a întregului conține o versiune înghețată a scenei complete - acea scenă, de fapt, așa cum este privită din unghiul acestei porțiuni speciale a hologramei complete.

Here este poate cel mai improbabil aspect al holografiei difuze, tridimensionale moderne. Fiecare parte a hologramei include o înregistrare codificată a întregii scene, arătând fiecare obiect în poziția pe care a avut-o atunci când a fost văzut de acea parte a fotoemulsiei.

Figura 7-5 prezintă două fotografii. Fiecare a fost realizat din frontul de undă reconstruit printr-o proporție sau o porțiune diferită

a aceleiași holograme. Cea din dreapta a fost făcută folosind întreaga holograma, cea din stânga dintr-o mică parte din ea. Fiecare arată același rezervor de jucărie din față, deși nu din exact același unghi. Imaginea formată de fragment arată nu mai puțin zona tancului, deși o arată mai pete și cu mult mai puțină rezoluție. Imaginea, pe scurt, este mai grosieră - ca și cum ar fi formată dintr-o simplă eșantionare a punctelor din imagine, mai degrabă decât toate.

Holografia confirmă astfel marele principiu științific conform căruia natura nu ne lasă să obținem ceva degeaba. Există pierderi atunci când o hologramă difuză completă este redusă la o fracțiune din ea însăși, dar nu genul de pierdere cu care suntem obișnuiți cu fotografiile obișnuite. Dacă tăiem o parte dintr-un negativ obișnuit, tăiem o parte din imagine. Cu o hologramă, pur și simplu tăiem o parte din detaliile sau finețea texturii.

De fapt, formarea unei imagini dintr-o parte, mai degrabă decât dintr-o hologramă totală, aduce un câștig, cu totul alt tip. Comparația celor două imagini de rezervor din Figura 7~5 arată acest lucru. Poza din dreapta, deși mult mai clară și mai detaliată în partea din față a

figura 7-5 Două imagini dovedesc un paradox: partea care include întregul. În dreapta imaginea formată din holograma completă a unui model tanhj în stânga imaginea formată doar dintr-un mic fragment din întreaga hologramă.—EN Leith, Institutul de Știință și Tehnologie, Universitatea din Michigan

rezervorul este neclar și lipsit de focalizare în altă parte. Atât turela, cât și botul pistolului arată moale. Cu toate acestea, imaginea din stânga, făcută din fragment, este aproape la fel de focalizată peste tot, în ciuda texturii sale aspre și împrăștiate.

Vedem că o hologramă, fiind atât o placă de zonă generalizată, cât și un fel de lentilă, se comportă ca un obiectiv obișnuit pe o cameră. Dacă facem o fotografie cu obiectivul larg deschis, obținem mai multă lumină într-un anumit timp de expunere, dar adâncimea de focalizare sau de câmp este limitată. Dacă obiectivul este oprit prin intermediul diafragmei irisului, mai puțină lumină ajunge în film, dar adâncimea focalizării este crescută. O gaură, de fapt, deși este o lentilă foarte lentă, are o adâncime aproape totală de focalizare, imaginând cu claritate obiectele atât din apropiere, cât și de departe.

Holograma în sine servește drept ceea ce oamenii de știință optică califică deschiderea limită. Astfel, atunci când folosim o suprafață de numai 2x2 cm dintr-o hologramă de 10 x 10 cm, reducem ceea ce ar putea fi o deschidere limită de 100 cm2 la una de numai 4 cm2.

Câștiguri difuze. Astfel de holograme amestecate au câteva alte avantaje. Deoarece fiecare parte întruchipează întreaga scenă, ei

poate fi parțial spart sau distrus, iar ceea ce rămâne va reconstrui totuși un front de undă care imaginează întregul. Astfel, hologramele difuze sunt mult mai puțin vulnerabile la lacrimi, zgârieturi, cicatrici și Marte.

De asemenea, hologramele difuze oferă o gamă dinamică mult mai mare decât fotografiile obișnuite, indiferent dacă sunt de tip transparent (cum ar fi diapozitive) sau de tip opac. Se aude de gamă dinamică și în ceea ce privește reproducerea hi-fi și a sunetului, unde reprezintă intervalul dintre cel mai slab volum sonor și cel mai puternic volum posibil. În optică este intervalul dintre zonele cele mai întunecate și cele mai luminoase ale imaginii. Intervalul dinamic acustic este adesea exprimat în decibeli. Nu, în ceea ce privește imagistica, este suficientă o simplă comparație fracționată.

Astfel, o hologramă difuză bine realizată poate oferi imagini ale căror porțiuni cele mai luminoase arată de 100,1)00 de ori intensitatea luminii celei mai întunecate. În orice fotografie obișnuită, un raport sau un factor de 1000 ar fi considerat bun.

Hologramele difuze pot atinge performanțe atât de superioare, deoarece lucrează pe un principiu făcut celebru de către cei trei muschi din Dumas: „Unul pentru toți; toți pentru unul!"

Să presupunem că olografăm o scenă care conține o lumină foarte strălucitoare, în timp ce restul este umbrit și întunecat. Apoi modelele de interferență care vor difracta lumina pentru a forma evidențierea corespunzătoare din imagine, sunt stocate sau împrăștiate pe toată zona hologramei, nu doar într-o mică parte din ea. Evident. acest lucru este mult mai eficient în formarea imaginii.

Dar chiar și acest lucru este umbrit, pentru mulți oameni, de faptul că hologramele reconstruiesc complet stereoscopia și imaginile vii ale subiecților tridimensionali. Acest lucru este arătat de două fotografii realizate din părți diferite ale aceleiași holograme 3-D relativ timpurii de către Upatneiks și Leith, Figura 7-6.

Iluminarea aici era în mare parte din spate, așa că vedem în siluetă figurile model, ricșa de jucărie și literele

figura 7-6 Două „unghiuri” destul de diferite fotografiate din aceeași hologramă difuză tridimensională.—EN Leith și Juris Upatneiks, Universitatea din Michigan

reprezintă numele Universității din Michigan. Relațiile diferite ale acestor părți arată că fotografia din stânga a fost realizată prin îndreptarea camerei către o parte a imaginii hologramei mai jos și mai în dreapta decât în cazul celeilalte fotografii.

O hologramă, de fapt, servește ca un fel de fereastră. Orice modificare a poziției noastre la această fereastră produce o modificare a

relațiilor de poziție și unghiular dintre obiecte, așa cum ar fi dacă acestea

chiar erau acolo. Nu putem doar să ne selectăm unghiul de vedere, în limitele hologramei, dar ne putem concentra și pe diferite distanțe sau adâncimi, folosind camere sau microscoape pentru a examina imaginea reconstruită.

Un singur neajuns stă în calea acestei remarcabile abordări a realității. Imaginea pe care o vedem este de obicei într-o singură culoare de lumină furnizată de laserul folosit pentru a reconstrui holograma. Cu toate acestea, vom vedea mai târziu câteva metode care pot adăuga efecte multicolore holografiei.

Leith și Upatneiks au subliniat că lățimea câmpului, răspândirea unghiulară inclusă într-o hologramă, nu depindea de o anumită lentilă - pentru că nu este folosită nici una - ci pur și simplu de finețea granulei sau puterea de rezoluție a fotoemulsiei introduse în piat. titular.

Se pot realiza două holograme ale obiectelor identice, fără a le schimba nici poziția, nici dimensiunea plăcilor foto utilizate. Placa cu granulație de emulsie mai fină va ocupa un câmp mult mai larg și va arăta obiecte de ambele părți și deasupra și dedesubt, pe care piața cu granulație mai grosieră pur și simplu nu le include în realizarea imaginii sale. Din nou vedem că, la fel ca plăcile de zonă mai vechi, holograma se îndoaie mai mult la lumină, cu atât mai fină sau dozatoare împreună sunt benzile și franjuri.

Holograma difuză arată ca și cum ar conține doar granule și pete împrăștiate, nu benzi, franjuri sau inele concentrice. Totuși, lucrul care contează este cât de mici sunt boabele. Cu cât sunt mai mici, cu atât mai largă va fi răspândirea unghiulară a scenei imaginea de frontul de undă reconstruit.

Cât de mare poate fi, din față în spate, scena din care poate fi realizată o bună hologramă difuză? Acest răspuns depinde în principal de lungimea coerenței luminii furnizate de laserul care iluminează scena. Am văzut că Gabor, în lansarea noului său principiu de microscopie, a trebuit să folosească lumini cu arc a căror coerență a fost evaluată la mai puțin de 0,1 mm. O astfel de lumină nu ar fi fost suficientă

pentru a face o hologramă chiar și a celei mai mici scene tridimensionale. Cu toate acestea, până în 1963, cele mai bune lasere cu gaz au dat lumină a cărei lungime de coerență era de aproximativ treizeci de mii de ori mai mare.

Holografii sunt obligați să respecte o regulă simplă. La amenajarea scenei și la poziționarea obiectelor și a suportului pentru plăci foto, aceștia trebuie să se asigure că dintre toate căile luminii rezultate între laser și emulsie, cea mai lungă nu o depășește pe cea mai scurtă cu mai mult decât lungimea de coerență a luminii pe care o folosesc.

Realistic versus pseudo: imaginile virtuale și reale. Pe măsură ce hologramele 3-D au fost făcute și studiate, ceva aproape ciudat a fost dezvăluit. Imaginile virtuale, aparent situate dincolo de hologramă, spre sursa de lumină, s-au comportat așa cum ar trebui imaginile bune - părțile lor și-au modificat poziția exact așa cum ar fi făcut-o obiectele reale. Cu toate acestea, lucrurile au stat foarte diferit cu imaginile „reale”, care au apărut în spațiul dintre hologramă și observator.

Acestea au scos la iveală inversiuni fantastice ale relațiilor obișnuite – un fel de distorsiune necunoscută în optica anterioară. Se spune în mod obișnuit că imaginea reală a unui subiect 3-D este pseudoscopică - pseudosensând fals - mai degrabă decât y/crcoscopic. Relațiile de profunzime, relief și perspectivă ale scenei originale sunt fals legate în aceste imagini reale.

Figura 7-7 sugerează de ce. Această scenă prezintă doar două obiecte: cilindrul eliptic E, plasat mai aproape de fotoemulsie; și prisma unghiulară P. Fronturile de undă formate de holograma finalizată arată observatorului o imagine virtuală cu E mai aproape și P mai îndepărtat – exact așa cum erau în scena reală. Totuși, atunci când se uită la imaginea reală formată între hologramă și el însuși, un observator va părea că îi va vedea dozatorul prismei P (pentru că este mai departe de hologramă), în timp ce cilindrul E va părea mai îndepărtat de el (pentru că este dozator la

Lectură, sau fascicul de reconstrucție

figura 7-7 Ciudația imaginii „reale” în holografia 3-D. Formarea relației „pseudoscopice” între obiectele din scenă, așa cum este imaginea pe partea „aproape” a hologramei, atunci când este reconstruită.

hologramă!) Aceasta este o falsificare a scenei reale, așa cum este văzută din poziția plăcii foto!

Acum, din moment ce prisma P i se pare mai dozatoare decât cilindrul E, observatorul se așteaptă ca o parte din P să acopere sau să ascundă o parte a lui E. Cu toate acestea, partea prismei care ar trebui să ascundă o parte din cilindru, pur și simplu nu este acolo. În locul ei apare o gaură în P prin care observatorul vede E !

Adăugarea de difuzie: confuzie la bun efect

Relațiile de dimensiune și paralaxa sunt inversate în această lume foarte ireală a imaginii 3-D reale. Vizionarea unor astfel de scene poate fi derutant, deranjant, uneori de-a dreptul supărător.

Strânge lucruri se pot face cu aceste imagini reale pseudoscopice. Ele pot fi fotografiate fără a folosi obiectivul camerei. Trebuie doar să plasați o placă de fotografie unde o parte dorită a imaginii reale este formată în spațiu.

Figura 7-8 este una dintre cele mai cunoscute imagini de hologramă timpurie ale lui Leith și Upatneik în relief sau 3-D. Holograma originală a fost realizată din figuri model, iar fotografia reprodusă aici a fost realizată din imaginea reală formată de acea hologramă. Dar nu de toate. Dacă ar fi folosit holograma completă, imaginea rezultată ar fi arătat prea puțină adâncime de câmp. Henee și-au limitat iluminarea de reconstrucție la aproximativ două procente din suprafața completă a hologramei! Efectul a fost ca și cum un obiectiv de cameră f/4 ar fi fost oprit la f/48.

În ciuda acestei opriri, părți din această fotografie par oarecum neclare: de exemplu, primul plan apropiat din stânga; tot în dreapta unde se află roțile și cutiile de jurnal ale micului tender

figura 7-8 O locomotivă veche fotografiată printr-o metodă foarte nouă. Această hologramă difuză tridimensională, expusă pentru prima dată în 1964 și reprodusă pe scară largă, a dovedit că, în cele din urmă, holografia era pe un drum care ducea la noi progrese. — EN Leith, Universitatea din Michigan

par moale în comparație cu roțile motrice ascuțite ale locomotivei.

Există un remediu pentru efectul pseudoscopic care afectează imaginile reale formate din holograme 3-D. Este însă destul de complicată, implicând realizarea unei holograme (nr. 2) din imaginea reală formată de prima hologramă (nr. 1). Imaginea reală a nr. 2, deși format între el însuși și observator, va fi o imagine stereoscopică normală, nu una pseudoscopică!

Acesta este doar unul dintre multele trucuri holografice sofisticate și ingenioase, dezvoltate de holografi în anii care au urmat marilor progrese de la începutul anilor 1960. Una dintre cele mai izbitoare calități ale holografiei pare să fie capacitatea sa de a provoca imaginația și ingeniozitatea tehnicienilor care devin fascinați de ea.

capitolul 8

Instrumente, încercări, trucuri și tehnici de holografie modem

Holografia 3-D modernă a devenit posibilă datorită lungimii mult mai mari de coerență a luminii furnizate de laserele cu gaz. Dar chiar și acei cai de lucru stabili și siguri de iluminare trebuie menținute într-o bună reglare, pentru ca lumina lor să nu piardă din lungimea

prețioasă a coerenței. Henee un holograf bun trebuie să fie un bun operator și reglator de lasere.

Poziţionarea precisă a celor două oglinzi la fiecare capăt al tubului de gaz este vitală. Holograful nu poate avea încredere în ochiul lui. El folosește un dispozitiv rafinat, cum ar fi un analizor electronic de spectru, pentru a determina cât de pură și monocromatică este lumina generată. Când găsește o putere substanțială radiată la alte lungimi de undă decât cea principală, poate fi nevoit să le elimine prin intermediul filtrelor de culoare sau printr-un dispozitiv optic uimitor numit etalon Fabry-Perot.

Ca tehnică dependentă de fază, holografia necesită cea mai mare concentrație disponibilă de lumină la sau aproape de o singură lungime de undă și cea mai mare stabilitate a iluminării, ceea ce înseamnă uniformitate în timp.

105

figura 8-la. Cu lumină monocromatică - o imagine clară.

Chiar și după ce înregistrarea a fost realizată cu succes și holograma finită este în poziție pentru reconstrucție, nevoia de lumină pură, monocromatică nu a trecut. Dacă reconstrucția este încercată cu lumină care amestecă mai multe lungimi de undă diferite, vor rezulta mai multe fronturi de undă diferite. Acest lucru este arătat în Figura 8-la de mai sus. Figura 8–1b, totuși, arată formarea imaginii atunci când inatorul de ilium era un arc de mercur care emite lumină la cinci lungimi de undă principale diferite simultan. Un grup de imagini separat apare pentru fiecare dintre lungimile de undă.

106

figura 8–Ib Cu lumină care conține mai multe lungimi de undă separate– mai multe seturi separate de imagini.–EN Leith, Universitatea din Michigan

Cu toate acestea, prin tăierea unei singure lungimi de undă cu ajutorul filtrelor, sa obținut o vedere clară, unică din Figura 8-1 a, cu aceeași lampă ca sursă de lumină.

Am văzut în capitolul anterior că lungimea coerenței luminii disponibile stabilește limita pentru adâncimea sau întinderea din față în spate a scenei care poate fi holografată cu succes. Figura 8-2 prezintă o scenă care a stabilit un record pentru profunzime în ultima parte a anilor 1960. Ansamblul pitoresc ciudat de asortat de aici s-a extins pe o adâncime de aproape trei metri, văzut din

107

HOLOGRAFIE

i».t '   ■»?

■■Dl

vis

>> [redacted]

figura 8 2 O adâncime mare – nouă picioare de la placa foto până la cel mai îndepărtat obiect, caracterizează această scenă strânge, compusă din obiecte ciudat asortate. O astfel de adâncime a scenei devine posibilă în holografie numai datorită lungimii mari de coerență a laserelor moderne cu gaz. – Daniel Currie, Laboratorul Radar, Institutul de Știință și Tehnologie, Universitatea din Michigan

placa de fotografie. Un singur laser a furnizat iluminarea, deoarece o coerență suficientă a luminii nu a putut fi menținută cu două sau mai multe lucrând simultan.

Să vedem ce înseamnă acest lucru în ceea ce privește stabilitatea reală a generării luminii. Există aproximativ una și două treimi de milioane de valuri luminoase pe o lungime de un metru, dar în timpul înregistrării acestei holograme, unele dintre undele care au ajuns la emulsie părăsiseră laserul cu aproximativ cinci milioane de oscilații mai târziu decât alte unde atingând emulsie la acelasi timp. Cu toate acestea, pentru a asigura o hologramă bună, undele ulterioare trebuiau să fie practic uniforme ca lungime cu cele anterioare.

Primele eforturi ale lui Gabor, prin contrast, au fost făcute cu lămpi pe care se putea baza pentru a menține o astfel de uniformitate sau coerență pentru un echivalent de numai aproximativ două sute de oscilații.

Dimensiunea scenei care poate fi holografată cu succes depinde de alți factori, pe lângă doar coerența luminii laserului. Suntem limitați la un singur laser și trebuie să deturnăm cea mai mare parte a luminii acestuia către fasciculul de referință care trece direct la emulsie fără a atinge scena. Cu cât zona scenei este mai mare, cu atât mai atent trebuie să răspândim lumina rămasă peste ea pentru a asigura o iluminare destul de uniformă. Și, în același timp, cu cât scena este mai largă, așa cum este văzută de pe placa foto, cu atât mai fine trebuie să fie marcajele de interferență pe holograma finală. Dar cu cât granulația sau rezoluția emulsiei este mai fină, cu atât va avea nevoie de mai multă lumină pentru înregistrarea corectă. Emulsiile rapide, cum ar fi cele utilizate pentru realizarea de imagini sincere cu aparatul foto cu iluminare scăzută, au granulație grosieră. Emulsiile ultrafine, pe de altă parte, sunt ultra lente.

Acești factori - viteze mici ale filmului și densități scăzute de lumină pe subiecți - se adaugă la o singură rezultat: timpi de expunere foarte lungi. Și cu cât o expunere mai lungă, cu atât este mai mare riscul de vibrații, deplasări,

expansiune sau contracție și mișcări similare, care sunt fatale pentru succesul în holografie.

O schimbare a lungimii totale a căii luminii care nu depășește 15 sau 20% dintr-o singură lungime de undă a luminii, va modifica grav modelul de interferență înregistrat pe emulsie. Asta înseamnă că o deplasare mai mică de 0,1 microni sau 10~7 metri amenință probleme!

Dacă un obiect din scenă vibrează pe doar un sfert din lungimea de undă a luminii, așa cum se vede de pe placa foto, atunci pe holograma finită acel obiect ar părea să fi dispărut complet. Înregistrarea sa de lumină de pe placă, jumătate din timpul expunerii, ar fi interferat în mod distructiv cu înregistrarea sa de lumină în timpul restului expunerii. Chiar și vibrațiile cu mult mai puțin de un sfert din lungimea de undă vor produce o întunecare marcată.

Gordon Rogers a raportat că într-unul dintre experimentele sale de holografie, mișcările mici ale unui obiect l-au făcut să devină destul de invizibil pe imaginea formată de holograma rezultată. Cu toate acestea, umbra acelui obiect, din moment ce cădea într-un unghi care prezenta mai puțină mișcare, putea fi încă văzută. Holograma a produs astfel umbra unui obiect invizibil! Sugerează vag descrierea lui Mark Twain despre o supă foarte subțire care a fost făcută prin fierberea umbrei unui porumbel care murise de foame!

Holografia subterană. Primii ani ai holografiei 3-D au fost, prin urmare, marcați de cele mai minuțioase precauții pentru a evita cele mai mici mișcări ale obiectelor, plăcilor foto și aparatelor în timpul expunerilor foarte lungi.

Pentru cei din afară, holografia trebuie să fi părut o activitate clandestină, nocturnă și în mare parte subterană. Holografii lucrau după preferință în subsoluri și bolți, în timpul orelor mici, când traficul în trecere era la minimum și zgomotele străzii erau potolite. Ei au învățat să meargă în vârful picioarelor, să meargă în papuci sau în ciorapi, să evite vorbirea puternică, strănutul, tusea sau sughițul în vecinătatea „instalațiilor” lor.

Ei au construit mese antivibrații de masă vastă, plutind în aer, pentru a-și ține obiectele și oglinzile și laserele care furnizau lumină. Figura 8-3 prezintă un astfel de tabel folosit de Leith, Upatneiks și alții din Michigan. Suprafața sa superioară este o bucată mare de granit, suficient de mare pentru a face o jumătate de duzină de pietre

funerare, de care este atașată un cadru masiv de oțel. Granitul se așează pe un „sandwich” multiplu, compus din straturi de cărămidă și pâslă. Toată această masă călătorește pe camere umflate, ascunse mai jos, în spatele circularei

figura 8-3 Practic anti-vibrații. O masă masivă construită special pentru a permite holografia de pe masă cu expuneri lungi.—EN Leith, Universitatea din Michigan

paznici. Vibrațiile obișnuite transmise de podele și fundații sunt în mare parte amortizate sau netezite de toată această greutate.

Clemele puternice țin părți de aparate rigide deasupra mesei. Figura 8-4 îl arată pe Juris Upatneiks amenajând o scenă cu aspect simplu: două modele de mașini parcate la bordură cu parcare familiară

figura 8-4 Juris Upatneiks, veteran de ani de avansare a holografiei, aliniază un aparat complex, în pregătire pentru o hologramă tridimensională. Obiectele mici asamblate pentru scenă sunt umbrite de echipamentele optice masive și complexe din jurul lor.

— Juris Upatneiks, Universitatea din Michigan

Realizarea unei fotografii de tip hologramă

figura 8-5 Un dozator loolț la optica de precizie complexă implicată în pregătirea pentru o hologramă difuză 3-D bine realizată.—Juris Upatneiks, Universitatea din Michigan

metri. Orice altceva de la ambele capete ale mesei mari sunt aparate — inclusiv laserul în sine și o gamă complexă de oglinzi și alte dispozitive de modelare a luminii. Prin cadrul care va contine fotoemulsia se vede incheietura stanga a lui Upatneiks. Placa foto, desigur, nu este încă în acel suport.

Figura 8-5 prezintă într-o formă simplă câteva părți esențiale ale configurației pentru o hologramă 3-D. De la laserul din stânga două raze de lumină, simbolizând întregul fascicul, intră în arenă. Linia unghiulară, etichetată BS, este un element holografic cel mai important - o stropire a fasciculului. Este o oglindă parțial reflectorizantă. Nu „își face treaba”, adică să lași o parte din lumina laser să treacă pentru a forma fasciculul obiectului, dar reflectând cea mai mare parte în sus pentru a forma fasciculul de referință. Acea lumină este aruncată din nou în jos de o altă oglindă, M. Lentila, L, plasată în calea ei face ca fasciculul de referință să convergă aproape către un punct, apoi să diverge din nou. Efectul este că fasciculul destul de subțire a fost răspândit pe întreaga suprafață a plăcii foto.

Între timp, o lentilă similară asigură că fasciculul de obiecte va acoperi în întregime obiectele din scenă, care în acest caz este un model de locomotivă. Săgețile mici îndreptate în mai multe direcții indică modul în care, din două puncte, suprafața locomotivei împrăștie sau difuzează lumina. O parte, nu toată, din această lumină difuză ajunge la fotoplacă, unde interferează cu fasciculul de referință; și astfel se formează modelul hologramei de interferență aparent haotic.

Deși două lentile funcționează aici, nici un obiectiv pentru imagini, ca obiectivul oricărei camere foto. Aceste lentile doar manipulează sau „manichiurează" fasciculele de lumină pentru a le distribui astfel încât întâlnirea rezultată la fotoemulsie va reprezenta o scenă bine iluminată.

Adesea, în punctele de încrucișare ale luminii focalizate de astfel de lentile, sunt plasate găuri. Acestea au efectul dorit de a curăța fasciculele, deoarece permit să treacă numai acele raze care au călătorit paralel cu direcția principală a fasciculului. O astfel de blocare a razelor în afara unghiului crește coerența extrem de importantă a luminii din fascicul.

Figura 8-6 prezintă holografia de masă relativ simplă în acțiune. Două linii curbe albe la dreapta marchează limitele scenei, care include un model de locomotivă, o bicicletă albă în fața acesteia și rezervorul de apă feroviar în spate. La A se află laserul, în siguranță în cutia lui. M este oglinda, care îndoaie lumina laserului într-un unghi drept, aducând-o la divizorul fasciculului, S. Partea mai mică a intensității acelei lumini trece prin L, lentila care o răspândește peste zona scenei.

Între timp, separatorul de fascicul reflectă cea mai mare parte a luminii către R, o combinație de oglindă și lentile. Aceasta trimite fasciculul de referință direct pe placa foto, plasată în suport, P. Acolo reflexiile din scenă interacționează cu fasciculul de referință și formează modelele de interferență cu hologramă.

Scene mai mari decât aceasta pot necesita aranjamente mult mai numeroase și mai complicate pentru a se asigura că fiecare obiect este

figura 8-6 Elemente esențiale ale unui aranjament pentru trimiterea prin poștă a unei holograme difuze 3-D modem, folosind un model mic ca subfect.—EN Leith, Universitatea din Michigan

iluminat corespunzător — și totul din lumina furnizată de o singură sursă laser. Astfel, o altă hologramă Upatneiks și Leith a necesitat folosirea a nu mai puțin de trei separatoare de fascicule separate, care iluminau scena din trei unghiuri diferite, în timp ce fasciculul de referință era trimis, ca de obicei, direct către placa foto, fără a

cădea pe placa . scena deloc. Astfel, singurul fascicul coerent al laserului fusese împărțit în patru părți, înainte de reuniunea finală la fotoemulsie.

Ingeniozitatea, imaginația, persistența și răbdarea sunt toate necesare pentru a planifica, aranja, ancora, verifica și reverifica atât de multe piese diferite de echipamente pregătitoare pentru actul de holografie în sine. S-a spus că costul unei singure holograme 3-D bune era de aproximativ o sută de dolari – și în această eră inflaționistă, acesta poate fi dublat sau triplat. Cu toate acestea, dincolo și în spatele acestor cheltuieli imediate se află costurile aparatului de precizie care este utilizat - laserul, divizoarele de fascicul, oglinzile fine, lentilele și toate.

Cu toate acestea, au fost oferite kituri de holografie pentru modele cu buget redus pentru utilizarea începătoare de către amatori. Pentru aproximativ trei sute de dolari oferă elemente esențiale de bază, inclusiv un laser foarte modest. Acestea permit holografarea doar a scenelor foarte mici. Costurile implicate în holografie cresc probabil odată cu pătratul zonei scenei care urmează să fie înregistrată în holograme 3-D - și pot crește chiar ca cubul zonei respective.

Minunile holografiei nu sunt ieftine, în această eră timpurie a noii arte și științe. Cu toate acestea, costurile sunt mult mai mici decât cele esențiale în mai multe alte domenii îndepărtate ale științei moderne, inclusiv fizica de înaltă energie și fizica nucleară!

Pictori cu lumină coerentă. Fotografii buni sunt mai presus de orice pictori capabili cu lumină. Cu o certitudine bazată pe experiență, dar care îi pare unui începător aproape ca intuiția sau instinctul, un astfel de fotograf poate începe cu un interior neluminat și con-

aranjează-i cu fidelitate luminile, fierbinți sau difuze. Această iluminare preliminară este fundația. Expunerea camerei în sine pare aproape o idee ulterioară.

În mod similar, holograful experimentat dobândește, prin încercări și erori deseori costisitoare, un sentiment pentru plasarea pieselor și a pieselor care iluminează scenele sale 3D. El învață să direcționeze fasciculele de iluminare sau obiecte astfel încât acestea să cadă pe obiectele care urmează să fie incluse, mai degrabă pe orice parte a plăcii foto în sine; și învață să-și direcționeze fasciculul de referință către placa foto, fără a afecta obiectele care compun scena.

Din nou și din nou, un astfel de holograf poate verifica intensitățile luminii comparative care cad pe diferite părți ale scenei; și intensitățile rezultate ale luminii reflectate și de referință care se combină în planul suportului de placă, unde va fi plasată fotoemulsia. Un începător poate fi uimit sau chiar alarmat de slăbiciunea relativă a luminii reflectate pe placa foto de obiectele din scenă. El trebuie să-și amintească că această lumină trebuie să aibă o intensitate doar o

fracțiune din cea din fasciculul de referință, pe care o modulează și cu care interferează.

Există o disproporție comparabilă atunci când are loc operația de reconstrucție, iar holograma finită, iluminată de lumină laser, reconstruiește fronturile de undă și formează imaginile 3-D uimitoare. Dacă măsuram energia totală a luminii din fasciculul de iluminare înainte ca acesta să ajungă la hologramă și o comparăm cu energia luminoasă pe care holograma o diflracează pentru a forma imaginile, reale sau virtuale - atunci aflăm că aceasta din urmă este doar o mică parte din anteriorul. Juris Upatneiks, holograf experimentat și de succes, a estimat că imaginile rezultate sunt formate de doar aproximativ trei până la patru procente din energia luminoasă furnizată de fasciculul de reconstrucție!

Această proporție mică pare și mai mică dacă luăm în considerare efectele remarcabile obținute de aceste imagini. Figura 8-7 este o fotografie a reconstrucției holografice în acțiune. Emmet N.

figura 8-7 O hologramă terminată în acțiune. Prof. EN Leith folosește un laser pentru a reconstrui frontul de undă și imaginile înghețate în holograma mare din dreapta. Acestea sunt imagini virtuale, aparent situate pe partea cea mai apropiată a hologramei de laserul iluminator și departe de noi. — EN Leith, Universitatea din Michigan

Leith, cu mâna dreaptă pe cutia care ține laserul, luminează o hologramă mare, ținută în cadru mai aproape de noi. Vedem, parcă prin fereastra de hologramă, două imagini 3-D. Ambele sunt imagini virtuale, nu reale. Astfel, ele par să se afle între hologramă

și sursa de iluminare. Una este imaginea unui model de tanc, cealaltă a unei geometrice complexe! figura.

Dacă am fi de fapt în camera cu Leith, am putea, prin mișcarea poziției noastre, să vedem schimbările corespunzătoare în pozițiile și aliniamentele relative ale imaginilor. Deplasându-ne suficient de departe spre dreapta, s-ar putea să ne trezim uitându-ne prin zăbrelele geometrice! figura, în părți ale rezervorului de dincolo.

Dacă o astfel de magie multidimensională este realizată de doar trei până la patru procente din lumina iluminatoare, care este soarta celor 96 sau 97 la sută rămase? Este fie absorbit de porțiunile întunecate, opace ale hologramei, fie trece prin părți mai transparente fără difracție vizibilă. Astfel, luminile și strălucirile izbitoare ale celor mai bune holograme sunt obținute printr-o porțiune foarte mică a luminii de reconstrucție.

Un lung moment de al doilea: înregistrarea unei holograme. Când un holograf a pus o scenă, și-a plasat echipamentul, și-a testat iluminarea — cum este atunci holografia reală? Este o afacere

liniștită, păzită, aproape pe ascuns, pentru că stabilitatea trebuie păstrată cu orice preț.

Sistemele de ventilație sau de aer condiționat sunt probabil oprite, iar ferestrele închise, pentru a evita curenții de aer rătăciți și schimbările de temperatură. Cu toate acestea, laserul în sine emite o oarecare bătaie atunci când funcționează; iar o nouă placă de fotografie, luată dintr-un frigider și plasată în suportul său, răcește oarecum împrejurimile.

Pentru a evita astfel de amenințări, holografia este de obicei precedată de o rulare uscată sau de expunere falsă. Luminile sunt stinse sau stinse, placa foto este așezată în suportul ei, laserul este pornit, dar cu fasciculul blocat astfel încât să nu ajungă nici la scenă, nici la placa foto. Laserul are voie să funcționeze timp de douăzeci, treizeci sau chiar patruzeci de minute. Până în acest moment, fiecare posibilă schimbare de temperatură a avut loc - sau așa se speră.

Atunci, și numai atunci, i se permite fasciculului laser să-și completeze

figura 8-8 Pregătirea pentru a face o hologramă „înfășurată”. Această emulsie foto curbă „loolțs at” subiectul, o statuetă a unui cal, din fiecare unghi într-un semicerc, 180QWestinghouse Photo

curs și realizează expunerea. Poate că holograful eliberează fasciculul prin intermediul unui obturator cu acțiune lină. Sau, fără încălțăminte și abia respirând, el poate intra în vârful picioarelor în cameră și ridică cu atâta blândețe bariera - apoi pleacă, pentru ca căldura corpului său să nu provoace probleme.

Expunerea la hologramă poate dura zece până la treizeci de minute, când sursa de lumină este laserul cu gaz blând. Durata reală a timpului de expunere va fi calculată în prealabil din încetineala cunoscută a emulsiei cu granule fine și nivelurile indicate de lumină care ajung la aceasta.

Holograme care se întorc complet. Hologramele nu sunt întotdeauna realizate pe piese fiat din sticlă optică sau pe bază de film acoperită cu emulsie. Unele emulsii sunt expuse pe baze curbate, pentru a profita mai bine de puterile unice 3-D ale holografiei.

Figura 8-8 prezintă un aranjament de masă pentru a realiza o hologramă mare înfășurată a statuii mici a calului, văzută în prim-plan. Bila de metal lustruit, la stânga calului, nu este folosită pentru a prognoza viitorul într-un mod mistic, ci mai degrabă pentru a oferi un reflector de jur împrejur, răspândind fasciculul de referință de la laser pe toată suprafața emulsiei, care se fixează în suportul curbat deasupra și în spatele statuetei.

Lumina de la laserul cu gaz din cutia neagră lungă, în primul plan din dreapta, este îndoită de mai multe ori. O parte din el luminează calul din partea îndepărtată. O mare parte din ea eșuează pe minge și astfel se reflectă peste tot peste film, fără a întâlni figura calului pe drum. Filmul curbat „se uită” la cal dintr-o parte, din spate, din față și din orice alt unghi între ele. Holograma rezultată reprezintă un interval de aproape 180°, la jumătatea unui cerc complet.

Holograful, EP Supertzi de la Westinghouse Laboratories, stă la capătul îndepărtat al mesei ținând în mână dispozitivul care eliberează

121

figura 8-9 Două fețe ale aceleiași figuri de poșete, ambele din aceeași hologramă „înfășurată”. — Fotografie Westinghouse

122

Instrumente, încercări, tricas și tehnici de lumină laser pentru o expunere, după ce luminile de laborator sunt oprite.

Holograma înfășurată finală este un dreptunghi lung, care arată aceeași amestecare aparent haotică de granule alb-negru ca și alte holograme difuze 3-D. Pentru a reconstrui, va fi îndoit înapoi în aceeași curbă și iluminat cu lumină laser reflectată pe ea de bila de metal. Apoi se întâmplă ceva strânge, sugerat în fotografia compozită, Figura 8-9. Privind printr-un capăt al acestei holograme, vedem partea dreaptă a figurii calului; prin celălalt capăt apare partea stângă; iar prin centru, vedem calul cu capul, pentru că era îndreptat spre centrul filmului de înfăşurare când a avut loc holografia.

Să presupunem că cineva stă neclintit și privește o astfel de hologramă trasă pe lângă ochi. Figura calului, permanent vizibilă, ar părea apoi să se întoarcă lin printr-o jumătate de cerc. Toate aceste informații picturale variate sunt conținute în diferitele părți ale aceleiași holograme.

Cerc complet sau holograme de 360° au fost, de asemenea, înregistrate. Ele sunt de obicei montate în formă cilindrică, iar lumina laser, îndreptată în jos pe axa centrală, se împrăștie în exterior prin cilindrul filmului. Se poate plimba complet în jurul unei astfel de holograme și se poate vedea că imaginea din interior pare să se întoarcă și ea. Dar se întoarce în direcția opusă! Astfel, dacă mergem în sensul acelor de ceasornic în jurul unei astfel de holograme cu cerc complet, imaginea din interior pare să se rotească în sens invers acelor de ceasornic!

Holografia cu adevărat creează o lume de minuni prin oglindă, la fel de improbabilă precum oricare dintre cele pe care le-a întâlnit Alice și și le-a imaginat Lewis Carroll!

123

capitolul 9

Holograme care opresc mișcarea și cele care o detectează și măsoară

Chiar și mișcările mici ale obiectelor din scenă, după cum sa menționat, pot deteriora sau distruge valoarea unei holograme. Cu toate acestea, mișcarea implică timp, precum și distanță. Poate o placă să fie expusă atât de scurt încât mișcarea să fie kepi sub nivelul de pericol, oricât de mică este? Poate - prin utilizarea unor impulsuri de lumină suficient de scurte și intense de la un tip de laser mai puternic - laserul solid, mai degrabă decât laserul cu gaz mai ușor și mai stabil.

Leith și Upatneiks au subliniat cu ani în urmă că laserele cu rubin ar putea emite rafale intense de lumină coerentă, fiecare durand nu mai mult de 3 x 10~8 secunde (0,03 microsecunde). Chiar și un obiect care se mișcă cu o rată de doi metri pe secundă schimbă doar 0,06 microni într-un interval atât de scurt. Aceasta este mai mică decât 0,08 microni, considerată cea mai mare deplasare admisibilă către sau departe de emulsie care poate fi permisă în timpul perioadei de expunere efectivă.

De altfel, așa cum au prezis acești holografi pionieri, hologramele au fost realizate și sunt realizate cu un succes din ce în ce mai mare, folosind exploziile ultra-scurte, aproape explozive de lumină de la laserele cu stare solidă.

Natura de tip puls a acestor explozii a dat numele de holografie cu laser pulsat acestei ramuri a artei.

De fapt, folosind foi de difuzie pentru a reduce lumina la un nivel care nu ar putea afecta vederea umană, chiar și portretele au fost realizate cu lasere pulsate. Figura 9-1 prezintă un astfel de portret realizat de Dr. Ralph F. Wuerker, un holograf de top la TRW Systems Divi-

FIGURA 9-1 Holo-portret prin lumină pulsată cu laser rubin.

sion, Redondo Beach, California. Subiectul, Robert A. Briones, un asociat al lui Wuerker, este de două ori recunoscut: pentru că până și ecusonul său de identificare este suficient de clar pentru a citi numele și numărul (10525). Fotografia reprodusă aici a fost realizată prin focalizarea unei camere obișnuite de vizualizare pe imaginea virtuală reconstruită de hologramă.

Stili mai izbitoare este Figura 9-2. Here Briones, fotografiat

figura 9-2 Subiectul însuși își ține holo-portretul.it.

în felul obișnuit, deține o hologramă reală a lui, iluminată de laserul cu gaz din dreapta.

Puterile de înghețare a mișcării ale holografiei cu laser pulsate sunt ilustrate frumos în Figura 9-3, în care Briones a fost holo-snack stropind un curent de apă din gură spre placa de fotografie. Durata acestei expuneri poate fi de scurtă până la 10 microsecunde (IO-5 s). Totuși, chiar și în acest timp mic

figura 9-3 O performanță pulsatorie, cu o gură plină de apă, surprinsă de lumina pulsată de la un laser rubin.

Spân a existat o mișcare detectabilă a buzelor, bărbiei și obrazului lui Briones în timp ce a scos apă. Hепce vedem linii întunecate și inele pe fața lui. Sunt franjuri de interferență care rezultă din acea mișcare.

Adâncimea 3-D a imaginii hologramei este prezentată în Figura 9-4,

figura 9-4 Aceeași hologramă, cu o focalizare diferită, reveáis brusc picăturile stropite în timpul holo-portuturii.

realizat prin focalizarea camerei de vizualizare pe un plan sau un nivel mai apropiat din imaginea hologramă. Spre deosebire de focalizarea ascuțită, chiar strălucitoare, pe picăturile de apă separate de pe ochii și fruntea lui Briones, vedem că fața lui, acum lipsită de focalizare, arată vag și moale.

Astfel de instantanee holografice pot fi pline de surpriză și umor. Cu toate acestea, hologramele pulsate realizate cu lasere rubin obișnuite sunt de obicei dezamăgitoare, în cuvintele Dr. Wuerker, deoarece imaginile pe care le produc „au un aspect murdar și sunt deficitare în contrast”.

S-au căutat remedii în două direcții și s-au înregistrat progrese semnificative în fiecare. Prima direcție a fost utilizarea laserelor rubin pulsate pentru holograme mai puțin exigente în cerințele lor decât portretele și alte subiecte 3-D. Cealaltă direcție a fost către sisteme și dispozitive speciale pentru a face mai coerentă lumina laserelor rubin pulsate.

Adaptandu-se la posibilitatile unor astfel de lasere pulsate, holografii s-au intors catre practicile lui Gabor in primele sale holograme: folosesc spatii sau volume relativ mici prin care, prin

transmisie si nu prin reflexie, trece lumina pulsata, fiind difractata de obiecte mici în timp ce face acest lucru.

Dispozitive robuste și coordonate numite holocamere au fost dezvoltate pentru a face acest lucru mai ușor de realizat. Figura 9-5 prezintă o astfel de holocamera, completă cu figura sa mascota de Snoopy, faimosul beagle Peanuts, călare pe tubul care ține puternicul laser rubin. Această holocamera, dezvoltată la sediul Dr. Wuerker din California, este suficient de simplă și robustă pentru a fi dusă pe teren pentru a realiza holograme ale proceselor din camerele de ardere ale motoarelor cu reacție și rachete în timp ce acestea sunt în acțiune. Aceste imagini dezvăluie fluxul și turbulențele într-o măsură pe care fotografia obișnuită nu s-ar putea apropia.

Figura 9-6 prezintă detaliile interioare ale unei astfel de holocamere. Zona sa importantă se află mai jos, în cercul din dreapta secțiunii conice sau în formă de pâlnie. În acel gol un motor de rachetă funcțional cu

figura 9-5 Robustă și stabilă este această holocamera, pe care un pilot din Primul Război Mondial apare gata să plece pentru noi aventuri.

103 1/2 IN.

7B 1/2 IN

12 IN.

----27 3/4 IN.

TELESCOPUL DE ALINIERE DETASAL

■12 1/4 IN.

■ ENOMIRROR

LASER HEAO

10 IN.

OBIECTIV

AMPLIFICATOR RUBY

44 1/2 IN.

X~ 64 N.

23 1/2 IN.

20 N.

OGLINDĂ

15 IN. OtA. LENTILE DE FOCALIZARE

20 1/4 IN.

ACOPERIS R10GE

Diametrul scenei = 22 IN.

B IN.

15 1/4 IN.

18 IN.

22 1/4 IN.

LOCALIZARE HOLOGRAMĂ

Oglinda (SUPRAFETE FRONTALE

GRANDĂ DE REFERINȚĂ

67 1/2

1

LENTILA DIVERGINĂ

KERCELL ANO POLARIZATOR

O OGLINDĂ AJUSTABLE

12 3/16 IN.

SPLITTER DE FIZIC WEOGE

CLEME INELLE

RAZA SCENA

30 3/4 IN.

24 1/BIN.

REFLECTOR DE COLT

LASER RAI

OGLINDĂ

COLONA DE SUPPORT PRINCIPALA

6 ÎN DIAMETRU

PLACI PRISM ANO DIFUSOR

figura 9-6 Oglinzile, lentilele, un divizor de fascicul, un difuzor și alte complexități reglabile sunt incluse în tuburile de adăpost ale unei holocamere modem.—Dr. RF Wuerker, TRW Systems

Divizia, Redondo Beach, California

diametrul de până la 22 inci poate fi plasat, oferind astfel scena care urmează să fie holografată.

Nivelurile acestei holocamere sunt triple. Sus—sistemul laser, inclusiv în dreapta oscilatorul laser și amplificatorul chiar în fața locului unde este așezat Snoopy. Mijloc - acesta, cel mai subțire dintre cele trei tuburi orizontale, poartă fasciculul de referință spre dreapta, unde este reflectat astfel încât să acopere fotoplaca în caseta neagră din dreapta. Partea de jos — conul în formă de corn primește fasciculul obiectului, după ce a trecut printr-un difuzor și apoi proiectează acel fascicul printr-un ansamblu de lentile de focalizare dublă, cu un diametru de 15 inchi.

Acestea nu sunt, trebuie remarcat, lentile pentru imagini. Acestea oferă un fel de fundal difuz pentru scena din camera de ardere, care va asigura claritate și efect 3-D în holograma finită.

O astfel de holocamera permite formarea unei imagini instantanee din obiecte sau condiții de foarte scurtă durată. Hologramele rezultate pot fi studiate în detaliu pacientului mult timp după ce momentul expunerii a trecut. Prin schimbarea focalizării microscopului sau a camerei care studiază imaginea, toată adâncimea volumului olografat poate fi examinată selectiv.

Principiul holocamera a produs, de asemenea, sha-dowgrame revelatoare sau fotografii cu interferență cu gloanțe și alte proiectile în plin zbor. De asemenea, a reacțiilor chimice și electrochimice în curs. Și chiar și a întâlnirii și arderii ingredientelor combustibililor pentru motoarele de rachetă, inclusiv așa-zișii combustibili hiper-golici, care se aprind spontan atunci când intră în contact.

În asemenea condiții de foc, fotografia obișnuită ar înregistra doar o neclaritate de lumină din scena arderii. Cu toate acestea, holocamera a fost echipată cu filtre pentru a exclude o astfel de lumină și, de asemenea, lumina zilei din afara duzei sau ieșirii. Cel terminat

Hologramele s-au bazat astfel pe lumina roșie coerentă furnizată de laserul pulsat în sine. Acest lucru a furnizat informații despre procesele reale de curgere turbulentă și combustie - date imposibil de obținut prin alte metode.

Claritate holografică găsită în mijlocul ceților. S-au multiplicat atât de repede utilizările noi ale holografiei încât cele de dinainte de 1965 pot fi considerate timpurii. Printre acestea se numără măsurarea

holografică a dimensiunilor și distribuția picăturilor mici plutitoare care alcătuiesc ceață, ceață și aerosoli.

Fotografia obișnuită este handicapată în acest domeniu. Picăturile, mișcându-se constant, tind să producă neclarități ale fotografiei. De asemenea, dacă camera este focalizată clar pe picături la doi cm de lentilă, este puțin probabil să se concentreze la fel de bine pe cei patru sau cinci cm distanță.

Lucrând la Technical Operations, Inc., în Vermont, Brian J. Thompson, George B. Parent, Jr. și alții, au descoperit că ar putea ilumina astfel de picături prin intermediul fasciculelor de la lasere cu gaz pulsat, emițând lumină ultravioletă (invizibilă) doar 0,3371 microni în lungime de undă. Hologramele rezultate au conținut informații optice complete asupra picăturilor în volume de aproximativ 1 cm cub fiecare. Deoarece luminile au durat doar aproximativ 10-8 s (0,01 microsecunde), orice urmă de mișcare a părții a fost eliminată.

Din nou, fronturile de undă formate de holograme au permis focalizarea selectivă pe diferite planuri sau adâncimi în volumul mic. Astfel, anchetatorii au putut număra picăturile și le-au clasificat după dimensiuni. În volume însumând aproximativ 22 cm cubi, s-au găsit 263 de picături, majoritatea între 20 și 50 de microni în diametru. Mult mai puțini au fost cei cu diametrul cuprins între 50 și 70 de microni.

Operațiile pulsate cu ajutorul laserelor cu gaz au fost suficiente, deoarece volumele foarte mici holografate în aceste studii cu picături nu au necesitat.

cantitate mare de energie luminoasă per impuls. Foarte probabil, dezvoltările viitoare vor include lasere cu gaz capabile să emită impulsuri cu o putere mult mai mare.

Au fost dezvoltate diverse dispozitive și sisteme sofisticate pentru a ajuta la extinderea lungimii de coerență a luminii de la laserele cu pulsații solide, cum ar fi cele care folosesc cristalele sintetice de rubin familiare. Nu este posibil aici să sondați aceste dispozitive în detaliu. Cu toate acestea, holografia, în căutarea sa pentru o coerență tot mai mare, cuplată cu concizia și puterea impulsurilor, stimulează astfel de progrese, ridicând astfel nivelul tehnologiei laser în beneficiul unei varietăți de utilizări.

Dezvăluirea schimbărilor de mișcare și distanță prin hologramă. Punctele slabe și puterea sunt în mod curios cuplate în multe dintre tehnicile majore folosite de știință. Am văzut cât de ușor holografia poate fi împiedicată de mișcarea nedorită în timpul unei perioade de expunere. Cu toate acestea, aceeași sensibilitate ultra-acută la schimbările de distanță și formă este, de asemenea, utilizată în mod intenționat pentru a detecta și măsura schimbări care, până de curând, erau prea mici, prea complexe sau prea îndepărtate pentru a fi urmărite.

De fapt, cele mai mari perspective imediate pentru holografie, conform unui studiu din 1967 scris de Leith și Upatneiks, au fost observate în domeniul interferometriei holografice și al conturării.

Interferometrele optice au fost folosite pentru a face măsurători delicate de mai multe feluri în decurs de un secol sau mai mult înainte ca primele holograme adevărate să fie înregistrate. În ultima parte a acestei perioade, au fost folosite și interferometre radio, radar și infraroșu, cu rezultate superbe. Interferometria este, de fapt, aplicată la cele mai extreme extreme: pentru a detecta modificările de distanță la microscopie prin intermediul luminii și pentru a sonda unghiuri și distanțe în adâncurile cerului de deasupra cu ajutorul undelor radio din corpurile cerești.

Costul, complexitatea și dificultățile operaționale ale

cele mai bune interferometre optice au fost de multă vreme tradiționale. Ele fuseseră atât de dezvoltate încât, până la apariția holografiei, părea puțin probabil să se poată aștepta vreun pas substanțial înainte în acest domeniu. Cu toate acestea, acum, așa cum au observat Leith și Upatneiks, interferometria holografică, diferită de cea pre-holografică, a devenit „o metodă esențial nouă și potențial puternică de a compara starea unui sistem fizic în diferite momente”.

Intervalele de timp sunt într-adevăr de bază în distingerea principalelor tipuri de interferometrie holografică. De fapt, holografii au dat nume de trei tipuri principale care includ toate timpul atât ca cuvânt, cât și ca concept: (1) medie de timp, (2) interval de timp și (3) interferometrie în timp real.

Interferometrie holografică medie în timp. Acesta este pe primul loc pentru că a fost primul dintre cele trei care a fost demonstrat cu un succes clar. Figura 9-7 prezintă un set de șapte fotografii din holograme, realizate și publicate în 1965 de Robert Powell și Cari Stetson, pe atunci de la Universitatea din Michigan.

În fiecare caz, obiectul era același: suprafața fiat formând capătul unei mici cutii metalice cilindrice. Era macie să oscileze la diferite viteze și fiecare dintre cele șapte vederi, de la a la g, arată efectul a șapte frecvențe sau moduri de oscilație diferite și crescătoare. Expunerea holografiei a fost continuată, destul de deliberat, pe parcursul multor cicluri complete ale fiecărei viteze de oscilație. Astfel, în timp ce expunerea a continuat, părțile din partea superioară a cutiei au fost în mișcare rapidă, spre și departe de emulsia foto.

Alte părți, însă, au rămas relativ nemișcate. Acestea au format ceea ce oamenii de știință cali noduri sau zone staționare între regiunile de mișcare oscilativă. Regiunile albe din fiecare imagine dezvăluie unde se află nodurile nemișcate; acestea sunt regiuni în care au avut loc interferențe constructive. Zonele negre indică

figura 9-7 „Interjerometrie holografică în medie în timp” Șapte moduri sau modele diferite de vibrație a unei cutii de metal rotunde, la diferite frecvențe. — Robert Powell și Carl Stetson, apoi de la Radar Laboratory, Universitatea din Michigan

C D

F

G

regiuni de mișcare, deoarece tonul lor întunecat a fost creat de interferență distructivă în același interval de timp.

Amploarea amplitudinii oscilației în orice punct poate fi estimată prin numărarea numărului de linii de contur întunecate aflate

între acel punct și zona nodală albă. Fiecare bandă întunecată sau margine indică o creștere a unei fracțiuni minore (un sfert) din lungimea de undă a luminii (laser) utilizată pentru înregistrarea hologramei.

Figura 9-8 prezintă o hologramă medie în timp a vibrației unui motor cu reacție. Zona centrală albă indică locul unde vibrația a fost absentă. În dreapta ei putem număra șapte benzi de interferență întunecate, indicând linii de vibrații egale, dar crescătoare.

FIGURA 9-8 Curbele grațioase dezvăluie modelul vibratoriu al unui motor cu reacție, mulțumită holografiei „medie în timp”.—Centrul de Cercetare și Dezvoltare General Electric.

Holograme care opresc mișcarea în acea direcție; iar în stânga sunt nouă astfel de benzi indicatoare.

Nici un defect nu apare în testul acestui biade. Cu toate acestea, Figura 9-9 arată un rezultat destul de diferit. Liniile de contur sunt întrerupte orizontal sub centru. Aceasta a scos la iveală o fisură în metalul biadei!

Interferometria medie în timp holografică este nedistructivă.

figura 9-9 Schimbarea bruscă a inelurilor de interferență dezvăluie o dezamăgire ascunsă în această biade vibrantă a motorului cu reacție, holografată prin metoda „mediei în timp”.—Centrul de Cercetare și Dezvoltare General Electric

139

HOLOGRAFIE

Obiectele testate nu trebuie să fie ruinate, reconstruite sau modificate în timpul procesului. Nimic nu-i atinge în timpul expunerii, cu excepția luminii, dar asta este suficient pentru a raporta hologramei toate informațiile necesare despre comportamentul lor. Această informație apare sub forma benzilor care trădează diferențele de fază cauzate de mișcare.

O astfel de analiză poate fi utilizată pentru frecvențe surprinzător de înalte de vibrații. Părți ale obiectului testat se pot deplasa la viteze foarte mari între extremele căilor lor de vibrație. Metoda mediei timpului depinde de faptul că o suprafață vibrantă petrece cea mai mare parte a timpului total la cele două extreme ale unei astfel de călătorii vibratorii. Astfel, fotoemulsia „vede” o astfel de suprafață mai ales la cele două extreme, (a) cea mai îndepărtată de emulsie și (b) cea mai apropiată de aceasta. Hologramele rezultate sunt în primul rând înregistrări de interferență între lumina primită din statele (a) și (b). Când lumina primită de la (a) și (b) interferează în mod distructiv - când există o diferență de fază de 180° în undele luminoase - atunci se formează benzi întunecate sau franjuri. Acolo unde nu există o astfel de interferență, suprafața obiectului este albă.

Acest proces, care continuă pe parcursul întregii perioade de expunere, face o medie a modelului de mișcare al corpului care vibra. Henee media de timp a numelui pentru holograma rezultată. O astfel de holografie poate fi combinată cu iluminarea stroboscopică, on-and-off a fasciculului de referință și a fasciculului obiect. Dacă rata de vibrație a obiectului testat este necunoscută, aceasta poate fi estimată notând interacțiunea holografică la frecvențe cunoscute a acestei comutări de pornire și oprire a iluminării.

Interferometrie holografică time-lapse. Aceasta înregistrează pe aceeași placă foto două expuneri holografice diferite, fiecare cu același obiect, prima înainte, a doua după, unele schimbări semnificative în dimensiunea sau forma acelui obiect. Dezvoltarea și fixarea plăcii are loc numai după ce ambele expuneri sunt finalizate.

Acest lucru produce în mod intenționat ceea ce fotografii caută de obicei

140

Holograme care sunt Stop Motion

evita – o dublă expunere. Când o astfel de hologramă dublu expusă este iluminată, ea reconstituie, de fapt, ambele fronturi de undă, cele pentru situația de dinainte, cele pentru situația de după. Aceste fronturi de undă interferează, în măsura în care nu sunt identice.

Această imagine combinată rezultată evidențiază prin intermediul benzilor de interferență întunecate schimbările de formă dintre cele

două stări ale obiectului. Time-lapse se referă la intervalul dintre aceste două state. Indiferent dacă trece mult sau puțin timp între ele, holograma terminată păstrează o înregistrare permanentă a efectelor a ceea ce s-a întâmplat între timp.

Figura 9-10 prezintă două fotografii, bazate pe astfel de holograme, în curs de inspectare. Multiplele lor benzi întunecate sunt linii de contur de deviere constantă în paletele turbinei. Dr. John Wallack de la Centrul de Cercetare și Dezvoltare GE măsoară cu o scară distribuția acestor benzi de interferență. Transparența din dreapta are aproximativ cincizeci. Indică faptul că, sub stresul aplicat

Figura 9-10 Holografie „Time-lapse” alocă aceste turbine cu abur bugete {lame} pentru a raporta gradul de îndoire a acestora sub stres prin intermediul franjelor de interferență.—Centrul de Cercetare și Dezvoltare General Electric.

între expunerile de dinainte și de după, vârful (sus) biadei a fost deviat cu aproximativ șapte microni (7 x IO-6 m) mai mult decât baza.

Interferometrie holografică în timp real. Aceasta este, până acum, metoda de testare holografică cea mai răspândită. În aceasta se înregistrează o hologramă a obiectului numai în starea anterioară. Apoi, când obiectul, rămânând exact acolo unde a fost, este pus în starea sa ulterioară (ca prin schimbarea presiunii, tensiunii, temperaturii și așa mai departe), holograma este plasată exact acolo unde a fost înregistrată și iluminată de către ceea ce fusese anterior fasciculul de referinţă. Celălalt, sau fascicul de obiecte, de la același laser este aruncat din nou asupra obiectului. Rezultatul este că frontul de undă al luminii de la obiectul real (după) interferează cu frontul de undă reconstruit de hologramă. Dacă există modificări de dimensiune a obiectului, franjurile de interferență întunecate rezultate vor fi văzute pe obiectul însuși, vizibile pentru ochiul unui observator sau pentru o cameră de înregistrare. Astfel de franjuri vor indica atât locația, cât și amploarea modificărilor.

În acest caz, starea de după este o situație prezentă sau „acum” când are loc interferența. Henee este numele în timp real pentru această tehnică. Acest lucru are o semnificație reală, în ciuda sunetului său destul de strâns. Înseamnă că ajustările sau corecțiile eventual necesare obiectului pot fi făcute pe el atunci și acolo. Obiectul în sine rămâne o parte esențială a procesului de interferență în această tehnică în timp real.

Înainte de holografie, interferometrele optice nu puteau fi folosite pentru a măsura obiecte cu suprafețe aspre, neregulate sau chiar mate. De asemenea, a fost cel mai dificil să se efectueze examinarea interferometrică a corpurilor transparente cu defecte sau defecte în substanța lor. Astăzi, interferometria holografică poate fi utilizată pe obiecte la fel de aspre sau robuste precum anvelopele de mașini, camioane sau avioane, precum și pe obiecte transparente din ochelari de toate felurile.

Apare o nouă tehnică, cunoscută pe scurt sub numele de HNDT, adică testare nedistructivă holografică. Folosește atât metode de expunere dublă (time-lapse), cât și metode de holografie în timp real, de obicei în echipamente special construite în acest scop.

Figura 9-11 este un analizor de anvelope Holographie de la GC Optronics Corp., Michigan. Schema sa operațională este prezentată separat

FIGURA 9-11 Analizor de anvelope Holographie. O anvelopă este la locul ei gata pentru a fi holografată în trepte: pe banda de rulare și pe ambii pereți laterali, la stânga și la dreapta. — GC Optronics, Inc.

figura 9-12 Dispunerea unui analizor holografic de anvelope, așa cum se vede de mai sus. Notați lungimea laserului cu gaz din cutia sa, mai sus. Întreaga masă folosită ca suport are o suprafață de aproximativ 40 sq. ft.—GC Optronics, Inc.

ritmic în Figura 9-12. Nu laserul se află în partea de sus. Fasciculul său este împărțit de un separator de fascicul, majoritatea mergând în fasciculul de referință reflectat direct pe suportul plăcii, în dreapta jos, unde este plasată emulsia; restul merg la combinația lentilă-pinhole, aici etichetate filtre spațiale, care le reflectă pe anvelopă. Două oglinzi de ambele părți ale anvelopei permit emulsiei să înregistreze nu numai starea suprafeței benzii de rulare, ci și a pereților laterali.

Astfel, se face o comparație holografică între forma unei anvelope înainte și după creșterea presiunii sale interne a aerului. Inelele de interferență întunecate trădează locația defectelor interioare și

slăbiciuni structurale. În general, holografia în timp real este utilizată pentru o primă screening sau scanare cu ochiul anvelopei pentru a localiza regiunile cu aspect suspect. Apoi, hologramele cu dublă expunere sunt făcute din acele regiuni. Aceasta oferă o înregistrare permanentă.

Figura 9-13 este o fotografie dintr-o astfel de hologramă dublă expusă. O anvelopă cu patru straturi de dimensiunea 8,25 x 14 a fost holografată înainte și după umflare la cincizeci de lire sterline pe metru pătrat. În stânga sus, o săgeată indică o separare a umerilor dezvăluită dramatic între căptușeală și primul strat al peretelui lateral. Săgeata de jos indică o altă expunere la frig: o separare între primul și al doilea strat de rulare.

Ceea ce vedem aici sunt franjuri de interferență de lumină, nu straturi de anvelope decojite. Aceste defecte au fost expuse în întregime de „fluajul” natural al anvelopei după umflare la o presiune destul de moderată. Fiecare margine întunecată indică o modificare a înălțimii anvelopei cu un sfert de lungime de undă față de franjuria de lângă ea. (Astfel de

figura 9-13 Defecte de anvelope relevate de franjuri de interferență în holografia cu dublă expunere. Aceste grupuri de cercuri indicatoare nu sunt vizibile pe anvelopa în sine. Ele au fost formate exclusiv prin interferometrie holografică, un detector uimitor de sensibil al micilor modificări ale dimensiunii și formei.-GC Optronics, Inc.

schimbare, din cauza călătoriei dus-întors făcute de lumină către și apoi înapoi din anvelopă, are ca rezultat o schimbare de fază cu jumătate de lungime de undă la fotoemulsie). Astfel, putem estima că defectul peretelui lateral, cu cinci inele întunecate concentrice, este o umflătură de cel mult o lungime de undă și un sfert – mult prea mică pentru a fi detectată de micrometre sau alte instrumente decât holografia.

Defectul benzii de rulare pare să aibă aproximativ aceeași adâncime foarte mică, probabil nu peste o lungime de undă și jumătate în total. În ciuda amplorii lor mici, aceste defecte indică posibile surse de pericol pentru mașina sau camionul care utilizează anvelopele.

Anvelopele nu sunt în niciun caz singurele obiecte potrivite pentru astfel de teste holografice nedistructive. Se aplică și pe panouri laminate și părți structurale. Schimbarea testată nu trebuie să fie cauzată de variații de presiune. Poate apărea și din schimbările de temperatură.

Testarea pentru „dare” sub sarcină. Milioane de teste se fac în fiecare oră într-o economie tehnologică precum a noastră. Printre cele mai numeroase sunt cele care urmăresc să determine amploarea deformării plastice sub sarcină. În trecut, pentru astfel de teste se recurgea la calibre mecanice de tipuri de varioane. Cu toate acestea, cadranele nu au o precizie mai bună de aproximativ o miime de inch. Interferometria holografică oferă o precizie între una și două mii de ori mai mare.

În plus, o hologramă poate oferi informații despre deplasările pe suprafețe mari ale unui obiect, unele dintre ele fiind greu de atins de calibre.

Figura 9-14 este o hologramă interferometrică care dezvăluie distorsiunile unei plăci metalice circulare sub presiune crescândă. La (a) este starea sa nestresată. La (b), presiunea din partea inferioară a produs cinci franjuri întunecate, indicând o deplasare de aproximativ 0,625 microni. În cele din urmă, (c) arată că stresul încă mai mare a produs mai mult decât

Figura 9-14 Distorsiunea unei plăci circulare sub presiunea anterioară este raportată de franjele de interferență relevate de interferometria holografică în aceste trei vederi succesive. Kenneth Haines și Percy Hildebrand, apoi de la Laboratorul Radar, Universitatea din Michigan

douăzeci de franjuri întunecate, sugerând o deplasare centrală de aproximativ 25 de microni.

Figura 9-15 prezintă modelul de distorsiune, mai complex și mai informativ, al unei piese metalice elaborate. Tija verticală și arcul orizontal de deasupra acesteia au fost folosite pentru a aplica forță în partea superioară a formei cilindrice. Benzile de interferență pe care le vedem arată deplasarea dintre statele înainte și după. Deplasarea maximă reală aici, măsurată din poziția emulsiei de fotografie, pare să fie de cinci sau șase microni.

Interferometria holografică a fost dezvoltată activ în diferite laboratoare din Statele Unite și, de asemenea, în Marea Britanie.

Conturarea holografiei. Acesta a fost un domeniu indicat de Leith și Upatneiks ca unul în care holografia promitea să se dovedească utilă. Aceasta implică utilizarea holografiei pentru a măsura și a marca diferențele.

înălțimi de adâncime sau distanță într-un obiect static, unul care nu suferă distorsiuni sau modificări de dimensiune.

Figura 9-16, care seamănă probabil cu măștile de Halloween sau modelele totemului, este de fapt o imagine conturată holografică a turnărilor (mulaje) ale arcadelor dentare inferioare a doi pacienți diferiți. Intervalul de conturare este de aproximativ zece microni - aceasta fiind diferența de înălțime între liniile adiacente.

Există două tehnici de holografie separate, dar înrudite pentru a obține imagini ale unor astfel de contururi; metoda indexului multiplu și metoda frecvenței multiple. În metoda indexului, obiectul de conturat este mai întâi acoperit cu un lichid cu indice de refracție cunoscut și expus la o placă holografică. Apoi, fără obiect în mișcare sau fotoplată, primul lichid este scurs și înlocuit cu un lichid cu indice de refracție diferit (fie mai mare, fie mai mic decât primul). Din nou fotoplaca este expusă.

figura 9-15 Un model dens de franjuri de interferență arată deformarea formei acestei piese metalice, produsă de presiunea arcului de sus. – Kenneth Haines și Percy Hildebrand, apoi de la Laboratorul Radar, Universitatea din Michigan

figura 9-16 Conturarea holografică a arcadelor dentare inferioare a doi pacienți diferiți. – Gerald Varner, Universitatea din Michigan

Holograma rezultată arată franjuri de interferență între cele două vederi. Diferența în indicele de refracție provoacă o diferență în timpul de călătorie al luminii pe drumurile sale dus-întors, mai întâi prin lichide și apoi, după reflectarea obiectului, înapoi din nou la emulsie.

Metoda frecvenței de conturare nu necesită lichide refractive. O placă foto este expusă de două ori la același obiect, mai întâi cu o lungime de undă a luminii laser, apoi din nou cu o lungime de undă diferită. Interferența celor două imagini are ca rezultat automat linii de contur al căror interval (distanță între ele) poate fi calculat cu ușurință din cele două lungimi de undă de lumină utilizate.

Se crede că astfel de metode precise de conturare pentru obiecte minuscule oferă aplicații utile în stomatologie și diverse specialități în medicină.

capitolul IO

Coduri holografice, chei și alte curiozități

„Curios și curios!” strigă Alice în Țara Minunilor în timp ce dimensiunea lui se schimba rapid. Același tip de exclamare pare necesar atunci când explorezi modificările uimitoare pe care le-a adus holografia.

Hologramele examinate până acum au rezultat din interferența unor fascicule de lumină de două feluri: (1) fascicule de referință care au mers nedifractate și neîmprăștiate de la sursă la emulsie; și (2) fascicule de obiecte, reflectate sau împrăștiate de scenele sau subiectele înșiși.

Cu toate acestea, holografia oferă încă o varietate - numele său fiind holografie cu val de referință modulată. Dezvăluirea publică de acest fel a avut loc la începutul anului 1969. Dezvoltat de CC Aleksofi de la Institutul de Știință și Tehnologie al Universității din Michigan, extinde foarte mult tehnicile văzute anterior în holografia medie în timp.

În această din urmă metodă, fasciculul de referință rămâne uniform și constant, în timp ce fasciculul obiectului este reflectat mai întâi în acest fel, apoi în altul, prin obiecte care vibrează. Putem spune, de fapt, că fasciculul obiect, dar nu fasciculul de referință, este modulat în frecvență (FM).

Să presupunem, totuși, că am găsit o modalitate de a modula și fasciculul de referință, imprimându-i un model de frecvență și, mai exact, o frecvență care este în pas cu frecvența cunoscută sau suspectată a obiectului care este reflectând valul obiectului către emulsie . . . ce atunci ?

Aleksoff a arătat că rezultatul este de a forma holograme care să funcționeze, ca să spunem așa, ca sisteme de detectare. Ei pot căuta și identifica zonele și căile prin care se propagă vibrațiile cu frecvența aleasă - cea care a fost impresionată pe fasciculul de referință.

În special, Aleksoff și alții au folosit astfel de metode de detectare a vibrațiilor holografice pentru a urmări modele de vibrații ultrasonice (sunete) în lichide. Acestea sunt frecvențe mult peste cele mai înalte note pe care urechile noastre le pot auzi. De exemplu, aceste noi detectoare de vibrații holografice au funcționat cu vibrații ultrasonice la frecvențe de 1,8 x 105 herți și chiar la 7 x 106 herți.

Astfel, holografia realizează o curioasă amestecare sau cooperare între undele sonore din materie și undele electromagnetice numite lumină. Dacă undele ultrasonice (vibrațiile) sunt direcționate prin apă obișnuită și un fascicul de lumină laser strălucește prin aceeași apă, atunci variațiile rapide ale densității apei modulează fasciculul de lumină la frecvența ultrasonică.

Fasciculul de lumină, astfel modificat ritmic sau împrăștiat în apă, poate fi făcut să formeze o diagramă de interferență holografică atunci când întâlnește un fascicul de referință care este, de asemenea, modulat la aceeași rată ultrasonică.

Aleksoff a folosit vibratoare sau traductoare acționate electric pentru a genera atât undele ultrasonice în apă, cât și pentru a modula fasciculul de referință. Astfel, a obținut holograme ale căror fronturi de undă reconstruite au oferit imagini ale secțiunii de apă prin care au fost transmise vibrațiile ultrasonice.

Here, Figura 10-1 prezintă o variantă a acestei metode. Fasciculul ultrasonic vine dintr-o parte (dreapta) și este reflectat înapoi

151

figura 10-1 O undă ultrasonică {sunet} care se mișcă prin apă este imaginea aici prin intermediul „holografiei cu undă de referință modulată”, o tehnică sofisticată de detectare. — CC Aleksoff, Universitatea din Michigan

și înainte în spațiul dintre două suprafețe metalice paralele, prezentate aici în unghi. Siluetate pe imaginea undelor ultrasonice aparent iluminate, vedem un boit, fire și ail, care ține deoparte cele două plăci de metal care reflectă undele.

Această hologramă imaginează de fapt o stare sau o stare în apă, mai degrabă decât un lucru tangibil. Imaginează avionul sau locul unde se mișcă undele ultrasonice.

Printr-o astfel de modulare a undelor de referință, holografia este capabilă să caute și să formeze imagini ale căror origini sunt atât de intangibile și tranzitorii ca undele ultrasonice care agită apa. Și o face destul de selectiv.

Este posibil, de exemplu, ca corpul de apă ilustrat aici să treacă prin el în același timp vibrații ale altor frecvențe. Cu toate acestea, acele alte valuri prin apă nu ar fi reprezentate în această hologramă. Ele nu ar interacționa suficient cu unda de referință modulată pentru a produce un model de interferență consistent pe emulsie.

Astfel, efectul de mediere a timpului funcționează și aici. Doar vibrațiile care mențin, în timpul perioadei de expunere, o relație uniformă de fază cu vibrațiile suprapuse undei de referință, vor fi văzute de emulsie. Ceilalți pur și simplu nu vor forma tipare acolo.

Detectare holografică suplimentară. Holografia are și alte puteri și poate chiar mai surprinzător de sofisticate. Poate fi utilizat pentru a recunoaște, a răspunde și a raporta formele și simbolurile alese.

Nume precum recunoașterea caracterelor, filtrarea corelației, detectarea corelației și filtrarea optică au fost aplicate în mod diferit acestor Sisteme.

Principiile de bază nu sunt greu de descris, deși pot fi dificil de aplicat eficient în practică. Mai întâi forma, simbolul sau caracterul care urmează să fie recunoscut este plasat pe o folie transparentă și se face o hologramă din aceasta. Figura aleasă poate fi un design, un număr, o literă sau chiar un cuvânt.

În înregistrarea hologramei, unda de referință este făcută destul de paralelă, adică nu diverge, nici nu converge. Se comportă astfel ca o undă care a venit dintr-o sursă aflată la o distanță infinită.

Holograma astfel înregistrată, odată finalizată, este plasată în poziție și iluminată. Cu toate acestea, fasciculul de iluminare nu este genul obișnuit nemodificat sau nemodulat. Mai întâi a fost trecut printr-o altă transparență realizată din textul sau modelele testate.

De exemplu, cuvântul cheie imprimat pe hologramă poate fi laser, iar fasciculul de iluminare poate fi trecut printr-un paragraf care conține un număr de linii de tip din paginile unei cărți, cum ar fi aceasta.

Imaginea formată de hologramă în aceste condiții este observată vizual sau fotografiată. Oriunde în text

a apărut cuvântul laser, imaginea ar trebui să arate un punct brighi sau un punct de lumină. Forma cuvântului laser, pe scurt, deblochează din hologramă imaginea sursei de lumină — punctul rotund de lumină.

Am putea simboliza prin litera A frontul de undă format din transparența care conține cuvântul cheie laser; și prin B frontul de undă al fasciculului de referință nemodulat în acel prim pas. Atunci C ar simboliza frontul de undă format de transparența textului testat. Holograma conține înghețate în ea efectele combinate ale lui A plus B.

Acum, când C trece prin hologramă, oriunde conține același complex de undă care l-a caracterizat pe A, atunci acesta elimină efectul lui A și eliberează, chiar acolo, efectul lui B. Acest efect apare ca punct de lumină brighi.

Fiecare astfel de imagine a sursei de lumină arată o apariție a formei sau simbolului cheii.

Lucrările privind recunoașterea formelor holografice au fost realizate de diverși pionieri, inclusiv A. Vander Lugt, LJ Cutrona și GW Stroke. Interesul pentru aceste metode sa bazat în mare măsură pe speranța că ar putea conduce la sisteme practice de citire automată, de recunoaștere și selectare a titlurilor sau numerelor în bibliotecile și centrele de referință ale viitorului.

Desigur, sunt implicate multe dificultăți. De exemplu, dacă cuvântul cheie laser a fost înregistrat holografic cu litere mici, atunci acel cuvânt în capitais, LASER, ar fi cu greu identificat; formele sunt atât de diferite.

Există, de asemenea, grade perturbatoare de similitudine m forme. De exemplu, apariția cuvântului muncă în text poate produce un răspuns foarte asemănător, pentru că prima, a doua și a cincea literă sunt aceleași cu cele ale laserului și ambele a patra litere sunt, de asemenea, foarte asemănătoare (o și e).

Un sistem larg util de recunoaștere a simbolurilor ar fi, fără îndoială, obligat să testeze rapid și selectiv pentru multe simboluri diferite în succesiune. Ar fi dificil rapid și precis

pentru a poziționa, una după alta, un număr de holograme diferite, fiecare asociată cu caracterul său separat. Totuși, acest lucru nu ar trebui să fie necesar, deoarece este posibil să se înregistreze pe o singură hologramă mai multe simboluri separate, fiecare prin intermediul unui fascicul de referință unghi diferit.

O astfel de hologramă multiplă, atunci când este iluminată de fascicule de reconstrucție a unghiurilor corespunzătoare, una după alta, ar trebui să caute simbolurile corespunzătoare în textul sau eșantionul care este investigat. Fiecare astfel de răspuns ar fi îndreptat către propriul unghi caracteristic. Henee — cel puțin în teorie — celulele sensibile la lumină, amplasate corespunzător, ar putea răspunde automat la punctele indicatoare sau la imaginile sursă generate de holograme.

S-ar putea imagina un Sistem de lectură complet alfabetizat, capabil să identifice, în succesiune rapidă, fiecare literă separată a alfabetului, atât cu literă mică, cât și în capitais, precum și semne de punctuație importante, numere și alte simboluri ale paginii tipărite.

O astfel de stocare holografică foarte multiplă pare să fie atinsă prin intermediul altor materiale de înregistrare decât emulsiile de

fotografie de astăzi. De exemplu, un singur cristal de material fotocromatic poate înregistra o sută sau mai multe imagini holografice separate, fiecare înghețată în structura sa moleculară la un unghi ușor diferit față de restul.

Figura 10-2 prezintă un mic segment al unei demonstrații remarcabile. Acestea sunt fotografii cu cinci dintr-o sută de imagini diferite stocate holografic într-un singur cristal de fotocromie, de Albert Friesem, Laboratorul Radar, Universitatea din Michigan. Fiecare imagine separată a fost mai întâi înregistrată și apoi reconstruită, cu o orientare unghiulară ușor diferită a cristalului.

Deoarece o rotire completă a unui astfel de cristal este de 360°, putem presupune că informațiile pentru fiecare dintre cele o sută de imagini se află într-un plan înclinat cu puțin mai mult de 3,5° de cel al imaginilor vecine cele mai apropiate!

(a) Imagine de la Sixty-first Recording

(b) Imagine de la înregistrarea de șaizeci de secunde

(c) Imagine de la Sixty-3rd Recording

(d) Imagine de la Sixty-fourth Recording

(e) imagine din Sixty-Fifth Recording

figura 10-2 Holografie multiplă în acțiune fitte a celor o sută de imagini diferite înregistrate pe un singur cristal de material fotocromatic – un exemplu de posibilități mult peste cele ale emulsiilor de fotografie convenționale. – Albert Friesem, Laboratorul Radar, Universitatea din Michigan

Astfel de perspective sunt impunătoare și poate chiar puțin îmbătătoare. Rămâne totuși de făcut o muncă extinsă înainte de a se perfecționa orice Sisteme holografice de căutare și identificare practic utile. După cum a menționat AE Ennos, unul dintre o serie de cercetători activi în holografie de la Laboratorul Național de Fizică, Teddington, Biroul de Standarde al Marii Britanii: „Problemele în realizarea cu succes a acestui lucru sunt complicate. . . dar în prezent se depun multe eforturi pentru a le rezolva.”

Hologramele posedă – după cum trebuie să subliniem în mod repetat – o capacitate extraordinară de a îngheța mai mult de o imagine separată, fiecare separată recuperabilă, fără confuzie cu altele. De fapt, chiar și o simplă hologramă poate fi privită ca înregistrarea generată de interferență a două modele separate: cea furnizată de fasciculul de referință și cea furnizată de fasciculul obiectului.

Să presupunem, de exemplu, că începem, ca de obicei, prin împărțirea luminii de la un laser cu gaz în două fascicule separate. Primul fascicul îl tăiem la o formă triunghiulară, trecându-l printr-o

deschidere adecvată. Celălalt, tăiem la o formă eliptică, prin mijloace similare. Apoi unim cele două grinzi, din nou ca de obicei, la emulsia fotografiei.

Holograma rezultată este montată și începe reconstrucția. Dacă îl iluminăm cu un duplicat al fasciculului triunghiular, îndreptat într-un unghi potrivit, atunci frontul de undă reconstruit va fi cel al fasciculului eliptic. Dar dacă îl iluminăm cu un duplicat al fasciculului eliptic, frontul de undă reconstruit va fi cel al fasciculului triunghiular!

Ceea ce iese, cu alte cuvinte, depinde nu numai de ceea ce a intrat în hologramă, ci și de cheia pe care o folosim pentru a o debloca!

În locul fotoemulsiilor obișnuite. Holografia este adesea denumită fotografie fără lentile. Acest lucru este adevărat, dar înșelător, deoarece implică faptul că holografia este inseparabilă de emulsiile de fotografie familiare.

În primii săi douăzeci de ani, arta holografiei a depins în mare măsură de fotoemulsii, acei detectoare sensibile de intensități luminoase, bazate pe substanțele chimice numite halogenuri de argint. Există, totuși, motive întemeiate de a ne aștepta că, în timpul celui de-al doilea scor de ani al holografiei, vor fi făcute tot mai multe holograme pentru înregistrarea unor substanțe cu caracter diferit.

O astfel de familie de substanțe a fost deja menționată pe scurt – (1) cristale de fotocromie. Alți concurenți proeminenți includ (2) materiale termoplastice și xerografice și (3) materiale fotorezistente. Aceste trei grupuri, împreună cu fotoemulsiile, alcătuiesc patru familii diferite de materiale de înregistrare adaptate diferit nevoilor și posibilităților holografiei.

Care sunt principalele caracteristici ale fiecăruia?

Fotocromiile sunt în esență pahare pline cu miriade de cristalite de argint foarte mici, care se întunecă atunci când lumina, care trece prin sticla din jur, le lovește. Acest proces fotochimic este, totuși, reversibil. Astfel de întunecări pot fi șterse mai târziu, la fel cum modelele de sunet înregistrate de modificările moleculare ale benzii magnetice pot fi șterse prin restabilirea unei stări magnetice uniforme a substanței care acoperă banda.

Sticla fotocromatică poate fi utilizată pentru holografie în grosimi mult mai mari decât cele practice cu majoritatea fotoemulsiilor. Acest lucru permite stocarea holografică a mult mai multe informații sub orice suprafață dată. Un eșantion mic a fost dat în Figura 10-2, arătând cinci dintr-o sută de imagini diferite stocate în același cristal mic.

Fotocromiile, evident, sunt transparente la începutul unei expuneri. Întunecarea are loc mai degrabă treptat și numai acolo unde energia

luminoasă este concentrată - în acele locuri, mai exact, unde are loc interferența constructivă între fasciculul obiectului și fasciculul de referință. Acolo unde apare interferența distructivă, energia luminii este nulă sau foarte scăzută, iar întunecarea nu urmează.

Materialele termoplastice, în schimb, sunt substanțe – aproape toate sintetice, de altfel – care devin mai moi și mai flexibile la încălzire, fără modificări serioase ale altor caracteristici. Când diagrama de interferență, formată în timpul înregistrării unei holograme, eșuează pe un corp termoplastic adecvat, atunci este alterată în regiunile care primesc o intensitate mai mare a radiației (luminozitate), dar lăsată neschimbată acolo unde a predominat întunericul. În principiu, substanța răspunde la diferențele termice (de temperatură) care corespund tiparelor de intensități luminoase diferite. Acestea sunt înregistrate cu o granulație mult mai fină în termoplastice decât în emulsii de fotografie.

Fotorezistele depășesc domeniul de aplicare al acestei cărți, dar pot deveni mai mari în viitor.

Emulsiile fotografice după expunere sunt procesate chimic – dezvoltate și fixate. Apoi devin permanente și ireversibile, deși sunt încă supuse deteriorarii sau daunelor accidentale. Substanțele fotocromie, totuși, nu au nevoie de prelucrare. Sunt destul de sensibili la diferențele de lumină și au o capacitate mare de stocare a informațiilor pe unitate de volum.

Materialele termoplastice, de tipurile care se vor dovedi utile pentru holografie, sunt ușor de prelucrat și pot fi reciclate, adică utilizate din nou. La fel ca și fotocromiile, acestea pot fi curățate și reînregistrate, pentru a forma holograme total diferite.

Fotorezistele suferă de handicapul de a fi destul de insensibile, adică necesită multă lumină pentru a finaliza o bună expunere. Pe de altă parte, au un nivel de zgomot foarte scăzut. Henee, acolo unde este multă lumină disponibilă și viteza de expunere nu este un factor, ar putea produce hoiograme foarte curate, de înaltă fidelitate.

Perspective pentru emulsiile familiare. Fotoemulsiile, se pare cel mai probabil, vor continua pentru o lungă perioadă de timp să fie cele mai utilizate materiale de înregistrare holografică.

În prezent, emulsii cu granulație fină sunt folosite pentru a face o mare parte de holograme standard - emulsii precum Kodak 649-F sau 649-GH; sau filmul Agfa Agepan.

În selectarea emulsiilor optime pentru scopurile lor, hologenii iau în considerare nivelurile de lumină sau intensitățile despre care știu că vor ajunge la emulsie în timpul unei expuneri.

O emulsie reprezintă o zonă care trebuie acoperită cu lumină - lumina combinată a undei obiectului și a undei de referință. Henee, holograful lucrează mult cu măsurile densităților radiațiilor luminoase, folosind combinații de unități precum ergi pe cm2 sau chiar jouli pe m2.

Expunerea satisfăcătoare a unei emulsii de înaltă rezoluție, cum ar fi Kodak 649-F, calis pentru un total de aproximativ o mie de ergi de energie luminoasă pe fiecare cm2 în timpul expunerii. Dacă se dorește o placă cu hologramă foarte mare, poate fi recomandabil să folosiți o emulsie mai rapidă, cum ar fi Agfa 10-E-70, care necesită mai puțin de 50 de ergi de energie luminoasă pe cm2. Este, în consecință, de aproximativ douăzeci de ori mai rapid decât 649-F, deși nu atât de fin (însemnând rezoluție ridicată).

În termeni practici, dacă măsurarea preliminară a intensităților luminii de către holograf i-a arătat că ar fi necesară o expunere de 16 până la 17 minute pentru succesul cu emulsia 649-F pe o placă de dimensiune dată, atunci Agfa 10-E-70 în aceeași dimensiune ar avea nevoie de doar aproximativ 50 de secunde.

În fiecare alegere de emulsie, cele două laturi ale scalei trebuie să fie echilibrate: cu cât granulația filmului este mai fină, cu atât viteza emulsiei este probabil mai mică; cu cât viteza este mai mare, cu atât rezoluția este mai grosieră. Rezoluția mai fină face posibile unghiuri de câmp mai largi. . . Nu e de mirare că holografia se califică ca o artă, precum și o nouă specialitate științifică și tehnologică!

Coduri, cifruri și holograme. Știrile oarecum fără suflare au sugerat că hologramele ar putea crea coduri noi de nedespărțit

și cifruri. Astfel de utilizări colorate sunt posibilități, deși este greu de imaginat un spion internațional care ia timp pentru a înregistra o hologramă, având în vedere numeroasele dificultăți și echipamentele necesare care au fost arătate.

O metodă specială de holografie numită imagini prin difuziune are o calitate cea mai asemănătoare codului și poate efectua servicii mai valoroase decât spionajul.

Am văzut deja câteva dintre câștigurile obținute prin plasarea difuzoarelor, cum ar fi sticlă șlefuită sau sticlă opal, între (a) sursa de lumină coerentă și (b) obiectul care transmite sau diferențiază fasciculul obiectului în drumul său către (c), placa de fotografie. De fapt, deși majoritatea obiectelor opace tridimensionale difuzează automat lumina pe care o reflectă, chiar și acestea sunt uneori luminate de raze de obiecte care au fost mai întâi difuzate în

mod deliberat. Acest lucru se face pentru a egaliza și netezi iluminarea, evitând punctele fierbinți dure.

Dar ce s-ar întâmpla dacă am plasa un astfel de difuzor între (b) și (c) - că acesta, între obiecte și fotoplacă?

În fotografia obișnuită, desigur, acest lucru ar crea o confuzie completă. Imaginați-vă că faceți un portret cu o sticlă șlefuită difuză sau un pahar ondulat în fața chipului frumos al domnișoarei! Nu numai că imaginea ar fi complet ștearsă, mânjită și amestecată, dar nu ar exista nicio modalitate fiabilă de a o recupera sau reconstrui din negativul sau printurile rezultate.

Aici, ca și în multe altele, holografia se deosebește cu totul de fotografia obișnuită. O hologramă de obiecte „vizuite” de emulsie prin medii difuze va produce un front de undă ale cărui imagini sunt amestecate în mod similar – dacă fasciculul folosit pentru a ilumina acea hologramă este unul pur, nedifuzat.

Cu toate acestea, dacă aceeași hologramă este iluminată de un fascicul care a trecut mai întâi prin același difuzor utilizat în etapa de înregistrare, atunci se întâmplă ceva extraordinar. Imaginea obiectului sau scenei iese la iveală, clară și curată, la fel ca și cum ar fi difuzorul

nu a fost folosit niciodată la înregistrare sau la etapele de reconstrucție!

Desigur, trebuie folosită precauție completă. Difuzorul identic trebuie utilizat în ambele etape, iar în etapa de reconstrucție trebuie poziționat la distanța și unghiul precis pe care le-a ocupat față de fotoplaca. Dacă se face acest lucru, atunci utilizarea difuzorului în a doua etapă are ca efect anularea sau deducerea utilizării acestuia în prima etapă!

Procesul ar trebui să fie numit „dedifuzare” sau poate „deducere prin difuzie”

Să presupunem că tu, și numai tu, cunoașteți sau dețineți difuzorul folosit în etapa de înregistrare. Atunci nimeni altcineva din lume nu ar putea fi capabil să dedifuzeze holograma. Orice mesaj sau simbol a fost blocat în el, va rămâne în siguranță până când ați fi gata să vă dezvălui cheia difuzorului.

În această măsură, holograma realizată de imagini prin intermediul mediilor de difuzare ar putea avea un anumit interes pentru James Bonds fictive sau pentru spionii internaționali care nu cunosc suficientă știință pentru a veni din frig.

Holografia permite, de asemenea, un alt tip de codare și decodare care este mai puțin melodramatică. Poate fotografia obiecte aproape invizibile - obiecte atât de aproape transparente încât fotografia

obișnuită ar oferi doar imagini vagi sau vagi. Pe scurt, poate oferi un fel de fotografie comparabilă cu cea pe care o oferă microscopul de contrast de fază Zermcke pentru micile obiecte și organisme transparente din țesut.

Să presupunem că obiectul pe care dorim să-l imaginăm este un bec delicat de sticlă sau o vază fragilă. Tehnica pe care am putea-o folosi a fost numită decodare interferometrică holografică.

Este format din trei etape. În primul rând, se face împărțirea uzuală a sursei de lumină coerentă într-un fascicul de referință, care merge direct la fotoplacă și un fascicul de obiect care trece prin obiectul transparent, apoi printr-o piață difuză rugoasă aleatoriu și, în final, spre fotoemulsie. .

Se face expunerea și placa expusă este îndepărtată pentru prelucrare. De asemenea, obiectul transparent este îndepărtat. Acum o nouă placă foto este introdusă în același suport. Și de această dată direct în fața acestuia este plasată o foaie transparentă de sticlă optică, ca sticla acoperită cu emulsie care a format fotoplaca. Apoi este expusă această a doua hologramă, combinând același fascicul de referință, cu un fascicul obiect care a trecut prin același difuzor, plus placa de sticlă transparentă. Ambele holograme numerele 2 și 1 sunt procesate.

Al treilea pas este plasarea hologramei 1 în suportul plăcii. Apoi holograma 2 este plasată direct în fața acesteia. Împreună, ele sunt iluminate de un fascicul care vine în același unghi cu fasciculul de referință a venit în ambele înregistrări.

Observatorul, care se uită în holograma 1 pare să vadă dincolo de ea și holograma 2 (care se află chiar de cealaltă parte a lui 1), imaginea virtuală a obiectului transparent. Este poziționat în spațiu la aceeași distanță cu care obiectul real a fost plasat în prima etapă.

Niciuna dintre hologramele gemene (1 sau 2) nu a putut reconstrui singură acea imagine. Dar împreună o fac.

De ce a fost folosită foaia de sticlă transparentă în a doua etapă? A fost folosit doar ca un egalizator sau compensator, pentru a menține relațiile de fază drepte. În etapa finală, fasciculul de iluminare trece mai întâi prin suportul de sticlă al hologramei 2, apoi prin holograma 1 și abia apoi razele difractate ajung în ochii observatorului. În consecință, înregistrarea hologramei 2 a cerut includerea sticlei clare, care a întârziat lumina suficient pentru a face totul să iasă chiar în a treia și ultima etapă!

Putem avea o viziune de codificare-decodare a ceea ce am făcut. Obiectul transparent original funcționează ca „mesajul”. Placa de difuzare a acționat ca „codificatorul” care a amestecat acel mesaj. Apoi am pregătit holograma 2 în așa fel încât să acționeze ca

un „decodor”, restabilind mesajul original din versiunea amestecată conținută în holograma 1!

Holograme pentru corectarea defectelor lentilelor. Hologramele, pare clar, pot compensa astfel de neregularități optice deliberate și extreme precum plăcile de difuzie. Atunci de ce nu pot compensa și defectele sau neregulile accidentale și nedorite ale lentilelor și ale altor dispozitive optice?

Adevărul este că pot.

Este posibil chiar ca holografia - noua fotografie fără lentile - să-și găsească cea mai comună aplicație ca o modalitate ieftină de a reduce defectele sistemelor de lentile.

Astfel de corectori sau redirectori holografici s-ar putea dovedi deosebit de eficienți în îmbunătățirea proiecției diapozitivelor și a foliilor transparente. Luați în considerare proiectorul obișnuit folosit pentru a arunca pe un ecran imaginea unui diapozitiv într-o prelegere. Este destul de risipitor. Diapozitivul sau filmul poate fi negru sau întunecat peste optzeci sau nouăzeci la sută din suprafața sa. Acea proporție din lumina totală de la lampa de proiecție este apoi absorbită, încălzind filmul și doar restul trece prin sistemul separat de lentile pentru a ajunge la ecran.

Cu toate acestea, dacă în loc de un sistem de lentile fiat slide plus, am folosit o hologramă difuză adecvată, atunci efectul de direcționare a luminii ar fi răspândit pe întreaga sa zonă. Posibil cincizeci la sută sau mai mult din lumina totală ar ajunge pe ecran, concentrată în liniile sau literele care urmează să fie imagine în lumină. Acest lucru ar asigura un sistem de proiecție de operare mai eficient și mai rece.

Redirectori sau corectori holografici pot fi aplicați în curând pentru a face ca sistemele optice relativ ieftine să funcționeze mai perfect. Fiecare astfel de hologramă este realizată prin intermediul sistemului optic pe care este proiectat, atunci când este finalizat, să îl corecteze. Este un fel de dispozitiv automat de compensare sau perfecționare.

O mare speranță în ultimul timp a fost că redirectorii sau corectorii holografiei ar putea îmbunătăți emisiile coerente de lumină ale laserelor.

înșiși. Rubin și alte lasere solide sunt cauzate de imperfecțiunile inevitabile ale cristalelor sintetice care le formează. Aceste imperfecțiuni provoacă variații perturbatoare ale indicelui de refracție al substanței prin care trebuie să călătorească lumina înainte de a ieși. Astfel de variații distorsionează frontul de undă al

luminii emise, care ar trebui să fie păstrat fix și nerăspândit de dragul coerenței.

În principiu, este posibil să se facă holograme care ar putea acoperi frontul de undă destul de complicat emis de un laser în frontul de undă neted al luminii coerente. Cu toate acestea, orice hologramă, oricât de atent făcută, este capabilă să provoace schimbările necesare în lumina unei singure frecvențe sau mod la un moment dat.

Faptul este că laserele mai puternice, în special cele capabile să facă „instantanee” holografice, radiază de obicei într-o manieră multifrecvență sau multimodală. Nici un singur element de hologramă fixă nu le poate corecta.

Situația este una provocatoare. Ar fi un fel de dreptate poetică – și un mare câștig pentru viitor – dacă hologramele, care au beneficiat atât de enorm de pe urma luminii laser coerente, ar putea reciproc făcând acea lumină și mai coerentă decât înainte!

capitolul 11

Holograme pe care nu le poți vedea și cele prin care nu se poate vedea

Hologramele difuze de astăzi sunt modele complicate și haotice de pete întunecate și luminoase, cele mai luminoase zone fiind transparente, cele mai întunecate opace sau aproape. Inima holografiei pare să se afle în acest contrast de opacitate, care nu permite trecerea luminii, și transparență, care o face, plus efectul puternic și subtil rezultat al difracției.

Cu toate acestea, neașteptarea holografiei pare inepuizabilă. Suntem pe cale să întâlnim holograme invizibile – holograme care nu seamănă cu nimic mai mult decât sticlă transparentă, cu probabil un lac ușor pe o parte. Nu conțin pete sau partide de întuneric. Totuși, când este plasat la unghiul corect într-un fascicul de lumină coerent, iată! Imaginile misterioase apar, chiar mai strălucitoare și mai strălucitoare decât cele formate din hologramele obișnuite alb-negru.

Și în acest capitol vom întâlni holograme la extrema opusă - genul care nu poate fi văzut deloc, pentru că sunt, de fapt, oglinzi complexe și fiecare rază de lumină îndreptată spre ele este reflectată din nou înapoi. , și într-un mod foarte special.

Oare astfel de holograme ciudate indică faptul că, la urma urmei, difracția și

efectele de interferență nu sunt de bază? In nici un caz. Ele dovedesc doar că fronturile de undă caracteristice obiectelor originale, pot fi reconstruite prin metode care nu necesită absorbția luminii prin

granule de argint opac care sunt împrăștiate prin holograme obișnuite alb-negru.

Holograme complet albite. Hologramele invizibile sau transparente își încep viața în același mod ca și cele obișnuite alb-negru. Cu toate acestea, o etapă chimică suplimentară este adăugată în procesul de dezvoltare-fixare. Se numește bieaching și rezultatul său este de a transforma ceea ce altfel ar fi granule opace de argint în compuși complet transparenți.

Acești compuși au indici de refracție „semnificativ mai mari decât cei ai emulsiei” care îi înconjoară. Citatul provine dintr-o lucrare autorizată despre eficiența de difracție a hologramelor albite, contribuită în 1969 de Juris Upatneiks și Cari Leonard.

Există diferiți compuși și procese de biaching adecvate. Toate realizează același rezultat general. Holograma albită devine un model de regiuni dintre care unele întârzie lumina mai mult (cele care au fost expuse la intensitatea luminii în timpul înregistrării) și altele care întârzie lumina mai puțin (cele care au primit o intensitate luminoasă mică sau deloc). O hologramă obișnuită este un model de opacități diferite. O hologramă albită este un model de refracții diferite.

Cel mai remarcabil – holograma albită formează o imagine mai strălucitoare, mai strălucitoare decât holograma alb-negru, deoarece transmite în imagine mai eficient lumina care strălucește prin ea în timpul etapei de reconstrucție.

„Eficiența difracției” este expresia folosită de holografi pentru procentul de lumină din fascicul de reconstrucție pe care o hologramă o difractează sau o direcționează în imaginile sale ale obiectelor. Holograma obișnuită alb-negru are o eficiență de difracție care nu este depășită

cinci sau șase la sută. Cele mai bune holograme albite ating eficiențe de zece sau de douăsprezece ori mai mari. Astfel, ele pot forma imagini relativ luminoase chiar și atunci când sunt iluminate de fascicule de putere mai mică.

Se pot realiza diferite tipuri de holograme transparente. Vom descrie aici pe cei albiți din emulsii de fotografie, deși hologramele neopace pot fi formate și din termoplasticul numit niobat de litiu, care este transparent la început și rămâne așa chiar și după expunere.

Hologramele albite pot fi clasificate în trei tipuri majore: (1) cele care operează deoarece conțin imagini în relief; (2) cele care operează pentru că conțin imagini de refracție; și în sfârșit (3) unele care combină atât imaginile de relief, cât și cele de refracție.

Relieful înseamnă aici diferențe de grosime a emulsiei. Este folosită în același sens ca atunci când un sculptor modelează o figură în

relief, prin variarea grosimii suprafeței unui panou. Există metode de înălbire în care boabele de argint opace sunt înlocuite cu regiuni cu o grosime de emulsie mai mare.

De asemenea, există și alte metode de albire în care boabele de argint opace sunt înlocuite cu regiuni de compuși mai denși, mai refractivi în emulsie, care rămân mai mult sau mai puțin uniform grosi.

Oricare ar fi metoda sau metodele de albire utilizate, trebuie avută mare grijă pentru a evita fie contracția, fie aspățarea accidentală a suprafeței emulsiei în sine.

Hologramele complet transparente de oricare dintre cele trei tipuri menționate par atât de neobișnuite încât va merita să arătăm cum și de ce funcționează. Micimea dimensiunilor implicate nu este mai putin impresionanta decat faptul ca hologramele par clare ca sticla.

Hologramele tipice albite sunt realizate din plăci de fotografie ale căror emulsii variază de la zece la cincisprezece microni în grosime. Aici vom lua ca exemplu o emulsie groasă-

de 10 microni și o lumină laser portocalie a cărei frecvență este de doar 5 x 1014 herți (un herți fiind un ciclu pe secundă).

Ce diferențe de fază pot fi așteptate de la diferențele tipice în grosimea unei astfel de emulsii după finalizarea procesului de albire? Să vedem care va fi efectul unei creșteri de doar 1 micron a grosimii emulsiei transparente procesate.

Indicele de refracție al emulsiilor clare albite este de aproximativ 1,5. Aceasta înseamnă că lumina trece prin ea cu doar două treimi (1/1,5) la fel de repede ca prin spațiul gol. Lumina are nevoie de 4,95 x 10 ~ 15 secunde pentru a traversa un micron de emulsie limpede, dar doar 3,33 x 10 ~ 15 secunde pentru a traversa un micron de spațiu gol. Fiecare micron suplimentar de emulsie înseamnă o întârziere de doar 1,62x10 15 secunde în timpul necesar luminii pentru a merge de la sursă la destinație, când holograma este reconstruită.

Lumina portocalie completează o oscilație completă în 2 x 10~15 secunde. Emulsie adăugată de un micron înseamnă că lumina este întârziată cu 1,62/2 lungime de undă sau 0,81 lungime de undă. Aceasta este o schimbare de fază substanțială, pentru că știm că o schimbare de fază de doar 0,5 lungime de undă poate produce o interferență distructivă între două unde luminoase de aceeași frecvență.

Chiar și diferențele de fază de numai o optime a lungimii de undă, cum ar fi cauzate de modificări mai mici de 0,16 microni în grosimea emulsiunii, modifică puternic frontul de undă reconstruit de hologramă. Diferențele de grosime de până la 0,1 microni sau chiar 0,05 microni influențează vizibil imaginile rezultate.

Astfel, chiar și diferențele microscopice de grosime în emulsiile albite sunt, de fapt, mărunțișuri extraordinare. Este ușor de observat că cea mai mică încrețire accidentală a suprafeței emulsiei prin procesul de dezvoltare sau de albire amenință fidelitatea imaginilor pe care holograma decolorată le va reconstrui.

Dar ce se întâmplă cu al doilea tip de holograme albite, a căror grosime se păstrează, pe cât posibil, peste tot la fel, dar

care conțin un model de indici de refracție diferiți, datorită diferențelor de densitate ale substanțelor din interiorul ?

Și aici, modificările minuscule au consecințe mari în ceea ce privește schimbările de fază. Să presupunem că, după bieaching, o hologramă are o emulsie oricând cu o grosime de 10 microni, dar în substanța sa există o bucată de 5 microni în care indicele de refracție este 1,6, mai degrabă decât 1,5 ca peste tot.

Lumina trece printr-un micron de spațiu gol în 3,33 x 10 15 secunde; printr-un micron din substanța cu indice de refracție de 1,5 în 4,95 x IO-15 secunde; și prin 1 micron de substanță cu indice de refracție de 1,6 în 5,28 x IO-15 secunde. De altfel, fiecare micron de distanță în care 1,6 ia locul materialului cu indice de refracție 1,5 înseamnă o întârziere de 5,28 minus 4,95 sau 0,33 x IO-15 secunde în timpul de tranzit al luminii.

Această lumină portocalie oscilează o dată la 2 x IO-15 secunde. O astfel de întârziere înseamnă o schimbare de fază de 0,33/2 sau 0,165 lungimi de undă per micron. Deoarece bulgărea are o lungime de cinci microni, defazarea totală trebuie să fie de 5 x 0,165 sau 0,825 lungime de undă.

Din nou observăm că o schimbare de fază de numai 0,5 lungime de undă face diferența între interferența constructivă și cea distructivă! Evident, bulgări foarte mici, ai căror indici de refracție diferă doar puțin de restul emulsiei, au efecte puternice în alterarea imaginilor formate de astfel de holograme albite.

Holograme silențioase și zgomotoase. Indiferent dacă funcționează în principal prin intermediul unor mici diferențe de grosime sau mici diferențe de densitate, hologramele albite pot obține eficiențe de difracție mult mai mari decât hologramele obișnuite nealbite.

Cu toate acestea, eficiența difracției nu este singura măsură pe care holografii o consideră importantă. Există, de asemenea, raportul S/N foarte semnificativ. Acesta reprezintă raportul semnal-zgomot. Folosirea „zgomotului” pentru a însemna pete de lumină și întuneric deplasate și înșelătoare în imaginea finală, a fost deja explicată.

O hologramă poate prezenta o cifră bună pentru eficiența difracției, dar are un raport S/N slab. În general, dacă intensitatea semnalului luminos care aparține imaginii nu este mai mare de zece ori intensitatea zgomotului (care nu aparține acolo), atunci holograma este considerată a fi destul de zgomotoasă. Sau, s-ar putea spune că este murdar - cu excepția faptului că zgomotul este termenul acceptat în optica modernă.

Dacă o imagine prezintă un raport S/N de 20, atunci este considerată o imagine de înaltă calitate, potrivită pentru vizionare. Și dacă raportul S/N crește de fapt la 30, atunci, conform lui Leith și Upatneiks, „zonele negre [ale imaginii] arată perfect negre și nu câștigăm nimic dacă avem un contrast mai mare de 20”.

Cu alte cuvinte, zgomotul din imagine apare sub formă de puncte luminoase aleatorii și pete în regiuni care ar trebui să fie negre; și pete și pete întunecate aleatorii în regiuni care ar trebui să fie luminoase sau brighi.

La sfârșitul anilor 1960, o hologramă formată dintr-o emulsie de fotografie care avea o eficiență de difracție de aproximativ douăzeci de procente și un raport S/N în jur de 20, putea fi privită ca o muncă destul de bună. O astfel de hologramă ar trebui în mod necesar să fie una albită, pentru că tipul nealbit pur și simplu nu a atins eficiențe de difracție atât de mari.

Vechea poveste a câștigului într-o direcție însoțită de pierderi în alta se repetă și aici. Contrastul îmbunătățit al imaginii, care implică de obicei un raport S/N crescut, este în general însoțit de o eficiență de difracție mai scăzută și invers.

Claritatea și contrastul sunt foarte căutate în imaginile cu hologramă. Multe holograme în relief albite au furnizat prea multă difracție. În efortul de a reduce eficiența de difracție pentru a crește rapoartele S/N, au fost încercate diferite metode. Una dintre ele se numește poarta lichidului și este strâns legată de o tehnică care a fost folosită de El-Sum și Kirkpatrick din Stanford în zilele pre-laser, când holografia era încă la început.

Procesul de poartă constă în scufundarea părții de emulsie a hologramei de relief albite finalizate într-un lichid cu indice de refracție aproape egal cu cel al emulsiei clare în sine. De obicei, deasupra lichidului se pune o foaie de sticlă optic perfectă.

Astfel, holograma devine un sandviș format din două foi de sticlă, spațiul intermediar fiind umplut fie cu emulsiune, fie cu lichidul al cărui indice de refracție se potrivește îndeaproape cu cel al emulsiei. Efectul este de a elimina acea parte a diferențelor de refracție și difracția rezultată, care a apărut din efectele de relief sau diferențele de adâncime ale emulsiei. Ceea ce rămâne sunt efectele de

difracție cauzate de diferențele de densitate (diferențele de indice de refracție, cu alte cuvinte) stili conținute în substanța emulsie.

Au fost realizate, de fapt, porți de lichid în care indicele de refracție al lichidului era ceva mai mare decât cel al emulsiei limpezi. Astfel de porți compensează în exces diferențele de grosime a emulsiunii. Astfel, ei sacrifică în continuare câștigurile de eficiență de difracție pentru a îmbunătăți raportul S/N.

Hologramele fără relief albite sunt uneori denumite holograme dielectrice. Acest lucru recunoaște faptul fizic că efectele die-electrice sunt responsabile pentru diferențele de viteză la care lumina este propagată prin substanțe cu indici de refracție variați.

Hologramele transparente, se poate spune în cele din urmă, sunt într-adevăr clare - dar în niciun caz nu sunt întotdeauna simple. Ele oferă un alt dintre multele zone fascinante și neașteptate de explorare în noua artă a holografiei.

Holograme prin care nicio lumină nu poate trece. Dar celelalte holograme, chiar opusul tipului complet transparent – cele prin care nimeni nu le poate vedea?

Acestea sunt uneori numite cu numele de blazed

holograme, dar sub orice nume, ele sunt practic legate de hologramele transparente în relief. De fapt, ele funcționează ca oglinzi cu contur variabil al suprafeței sau adâncime de relief.

Construcția unor astfel de holograme de reflexie începe, ca și înainte, cu expunerea unei emulsii fotografice adecvate. În următorul proces de dezvoltare, holograma este, de asemenea, albită într-un mod care înlocuiește grosimi variabile de emulsie cu fostele granule de argint. Acolo unde au fost boabele de argint închis, acum sunt regiuni cu o grosime mai mare de emulsie.

Se acordă maximă atenție pentru a evita contracția sau încrețirea emulsiunii sau alte distorsiuni în timpul procesării. Apoi un strat subțire de aluminiu este acoperit pe această suprafață de emulsie de diferite înălțimi. Aluminiul limpede, neatârnit oferă o suprafață de reflectare bună. De fapt, este folosit ca strat de oglindă în telescoape reflectorizante grozave pentru astronomica! utilizare.

Acum, când fasciculul de iluminat coerent este îndreptat către această oglindă, care în mod deliberat nu este un plan uniform, se întâmplă ceva strâns și semnificativ. Încă o dată descoperim un efect legat de fază. Dacă măsurăm razele imaginare de la sursa de lumină, până la suprafața reflectantă a hologramei și apoi până la ochiul observatorului sau la camera de înregistrare, constatăm că au lungimi diferite. Acele raze care au trebuit să meargă mai departe, la o suprafață cu reflectare scăzută, durează puțin mai mult decât cele care

au fost reflectate de o suprafață mai înaltă. Astfel de diferențe de timp înseamnă diferențe de fază.

Rezultatul este că hologramele reflectorizante formează imagini. Fiecare astfel de hologramă, mai exact, formează o singură imagine, care are caracteristicile imaginii virtuale formate din alte holograme, prin care trece lumina.

Totuși, nu este posibil ca o hologramă reflectorizată să formeze imaginea reală. Imaginea reală este formată, pe partea laterală a hologramei, departe de sursa de lumină, din raze care au trecut prin hologramă și au fost difractate de aceasta.

Cu hologramele reflectorizante nu pot exista raze care să fi trecut; există doar raze care au fost reflectate de suprafața oglinzii.

Hologramele de reflexie au fost numite holograme cu lumină albă, deoarece pot fi iluminate cu lumină albă, ceea ce înseamnă lumină mixtă sau multicoloră. Ele au capacitatea de a acționa ca filtre interjerene, reflectând în imagine doar o bandă îngustă de lungimi de undă, toate la lungimea de undă utilizată inițial pentru înregistrarea lor sau în doză față de aceasta.

Multe alte lungimi de undă conținute și în lumina albă sunt respinse, în ceea ce privește formarea imaginii.

Primul cercetător al hologramelor de reflexie a fost un holograf sovietic remarcabil, YN Denisyuk. A început experimentele la Institutul Vavilov în jurul anului 1962, lucrând fără lumină laser, în funcție de lămpile cu descărcare cu mercur, sodiu sau cadmiu. Denisyuk a adoptat pentru munca sa un nume care în rusă înseamnă fotografie cu valuri și și-a numit hologramele fotografii cu valuri.

Au fost realizate holograme de reflexie care vor produce imagini satisfăcătoare atunci când sunt iluminate de o lumină la fel de amestecată și incoerentă ca cea dintr-un fascicul alb obișnuit de lanternă sau chiar de lumina soarelui.

Folosind lumina laser de două lungimi de undă diferite în etapa de înregistrare, unii experimentatori au realizat holograme de reflexie care vor forma imagini în mai multe culori, atunci când sunt iluminate de lumină albă.

Modelele precise de gros și subțire, sau mai sus și mai jos, sub suprafețele reflectorizante ale unor astfel de holograme sunt chestiuni foarte delicate. Juris Upatneiks și alți lucrători din domeniu au descoperit că, deși au folosit lumină laser roșie pentru înregistrarea inițială, uneori nu au putut realiza reconstrucția imaginii cu lumină de aceeași culoare. În schimb, au trebuit să treacă la lumină verde, o lungime de undă mai scurtă decât roșie. Diferentul-

Hologramele pe care cineva nu le poate vedea, au descoperit ei, au fost cauzate de o foarte ușoară contracție a emulsiei în timpul procesării sale!

Duplicatele pot fi făcute din holograme de reflexie printr-un fel de proces de presare, comparabil cu cel care realizează înregistrări fonografice prin presare dintr-o matriță principală. Cu toate acestea, s-a descoperit că aceste duplicate sunt deplasate către lungimi de undă mai scurte prin contracție adăugată.

Din nou și din nou, holografia se dovedește vulnerabilă la mici, aparent nesemnificative contracții, schimbări și furaje. Acestea apar nu numai în timpul expunerilor, ci și în timpul proceselor de dezvoltare, fixare, albire sau acoperire în oglindă.

Nu se poate nega că holografia, așa cum s-a practicat în ultimii ani, a fost cea mai delicată, solicitantă și hipercritică dintre toate artele care decurg din fotografie sau care se aseamănă cu fotografia. Capacitățile sale enorme sunt egalate cu - și unii le-ar putea chiar considera a fi depășite de - cerințele sale mari privind răbdarea, înțelegerea și ingeniozitatea experimentatorilor săi.

capitolul 12

În ceea ce privește hologramele colorate și alte considerente concludente

Într-un aspect important, holografia poate părea că nu a îndeplinit afirmația încorporată în numele său - că oferă întreaga informație picturală Çholo) în imaginile sale cu obiecte sau scene înregistrate. La urma urmei, culoarea este o parte esențială a aspectului aproape fiecărui obiect sau grup, iar imaginile formate de hologramele pe care le-am cercetat, în ciuda numeroaselor lor capacități uluitoare, rămân totuși aproape în întregime zzzowchromatic. Ele reduc toate culorile reale ale obiectelor lor doar la cea furnizată de iluminatorul laser.

La urma urmei, lumina coerentă este, în mod necesar, lumină la o singură lungime de undă sau culoare. Pe de altă parte, lumina albă a zilei sau chiar lumina mai gălbuie a iluminărilor noastre artificiale uzuale, sunt amestecuri ample de multe lungimi de undă și culori - spectre de bandă largă, variind de la roșu la violet.

În toate domeniile majore ale tehnologiei vizuale - inclusiv reproducerea tipăririi pentru cărți și publicații periodice, fotografie și apoi televiziune - succesul cu culori unice, sau alb-negru, a condus la dorința de imagini multicolore și apoi la realizarea acestor dorințe. prin metode noi si ingenioase.

O variație holografică interesantă a fost deja menționată în capitolul 11: hologramele de reflexie care, deși sunt înregistrate cu ajutorul unei singure lungimi de undă obișnuite (culoare), pot fi iluminate cu lumină multicoloră sau chiar albă, din care reușesc să selecteze la fel. culoarea cu care au fost înregistrate. În acest fel, ele formează imagini monocromatice, deși lumina de reconstrucție este un amestec de multe culori. Nu toate astfel de holograme cu lumină albă sunt de tipul reflectorizant menționat în capitolul anterior. Alții sunt membri ai familiei numite holograme de volum. Acestea folosesc emulsii groase. Sunt mai selective de culoare decât majoritatea, datorită straturilor nodale multiple de întuneric și densitate variate pe care le conțin. Distanța acestor straturi este de așa natură încât ele focalizează în imagine doar lungimea de undă aleasă, respingând în același timp efectiv orice altă lumină.

Holografia multicolor reală, totuși, necesită ca imaginea finală să conțină mai mult de o singură culoare. Au fost făcute diferite eforturi și propuneri pentru a realiza acest lucru - un scop care nu este ușor de atins.

Multiplexare in frecventa. Primele eforturi în direcția multicoloră au fost numite multiplexare în frecvență. Această expresie provine din tehnologia comunicațiilor, în care multiplexarea înseamnă transmiterea mai multor mesaje diferite simultan pe un singur canal de comunicații, cum ar fi un cablu sau un sistem cu microunde.

În holografie, placa foto în sine este cea care servește drept canal de comunicație, iar o imagine pentru orice culoare (lungime de undă) reprezintă un mesaj. Problema este de a induce o fotoemulsie să transporte două sau mai multe astfel de mesaje de imagine color separate în același timp și de a le transmite (reconstrui) cu atât de puține pierderi sau confuzii încât rezultatul să fie o imagine îmbinată a două sau mai multe culori distribuite corespunzător. .

Am văzut că o singură fotoemulsie poate conține, sau „îngheța" în sine, mai mult de o imagine holografică distinctă – cu condiția ca fiecare imagine să fi fost înregistrată în unghiul său distinct. Astfel de unghiuri implică relațiile spațiale dintre planul emulsiei în sine, unda de referință care cade pe ea și undele obiectului reflectate sau difractate către emulsie de scena care este holografată. Este de dorit ca atât unghiul, cât și frecvența spațială (apropierea distanței), modelului de interferență imprimat pe emulsie, să difere pentru fiecare vedere separată de culoare a scenei.

Pentru a îndeplini această cerere dificilă, iată o procedură pentru înregistrarea unei holograme multiplex de frecvență: (1) scena și placa foto în sine rămân fixate în poziții neschimbate una față de cealaltă pe tot parcursul procesului de înregistrare. (2) În succesiune, scena este iluminată de lumină coerentă furnizată de trei lasere diferite - unul care emite lumină roșie, unul verde, unul albastru. Fiecare are, în consecință, o lungime de undă distinctă și pentru fiecare fascicul de referință corespunzător este făcut să se deplaseze către placa foto

și să cadă pe ea la un unghi diferit de cel al fasciculului de referință pentru oricare dintre celelalte lasere. De exemplu, unghiul dintre fasciculele de referință și obiecte, atunci când se întâlnesc pe emulsie, ar putea fi cel mai mic pentru lumina roșie, următorul pentru verde și cel mai mare pentru albastru.

Iată un exemplu ipotetic extrem: facem ca fasciculele roșii să atingă emulsie la un unghi mediu de 15° una față de cealaltă, cele verzi la un unghi mediu de 30° și cele albastre la un unghi mediu de 60°. Există o ecuație optică care ne spune că distanța, s, care separă planurile de interferență formate din două fascicule de unde plane coerente care interacționează este egală cu lungimea de undă a acestora împărțită la două ori sinusul jumătății unghiului format de fascicule pe măsură ce se întâlnesc.

Aceasta înseamnă că, în cazul tocmai menționat, s pentru lumina roșie ar fi de 3,83 ori lungimea ei de undă; și s pentru lumina verde

ar fi de aproximativ 1,94 ori lungimea ei de undă; în timp ce s pentru lumina albastră ar fi de numai o dată lungimea ei de undă. Să presupunem că lumina noastră roșie are o lungime de undă de 0,72 microni, cea verde de 0,52 microni și albastră de 0,48 microni.

Separarea rezultată a planurilor sau nodurilor de interferență pentru imaginea roșie ar fi de 3,83 ori 0,72 sau aproximativ 2,76 microni. Pentru imaginea verde este de 1,94 ori 0,52, sau aproximativ un micron. Și pentru imaginea albastră scade la o dată 0,48 sau 0,48 microni. Astfel, distanța medie a modelului de imagine verde în emulsie ar fi mai mult de două ori mai mare decât cea a albastră; în timp ce cel al roșului ar fi de peste cinci ori mai mare decât cel al albastrului și de peste două ori și jumătate față de cel al modelului de imagine verde! Acestea sunt diferențe spațiale substanțiale.

Mai mult, înclinarea fasciculelor de referință în fiecare dintre cele trei cazuri va fi astfel încât modelul de interferență al niciunei dintre cele trei imagini color nu va fi paralel cu cel al oricăruia dintre celelalte două modele. Fiecare are propriul său unghi distinctiv pe sau în emulsie.

Pe scurt, pentru fiecare dintre cele trei expuneri de culoare, modelul zonelor întunecate și luminoase create de interferență în hologramă trebuie să difere atât de celelalte modele, în ceea ce privește orientarea (direcția), cât și în ceea ce privește frecvența sau separările medii ale Unelor sale. și marcajele. În astfel de condiții, se poate spune că emulsie conține mesaje distincte pentru expunerea roșu, verde și albastru.

Holograma dezvoltată, desigur, arată ochiului unui observator doar haosul aparent obișnuit al granulelor și liniilor întunecate și deschise. Nu seamănă cu nimic în scenă. Holograma color nu arată mai multă „culoare” decât undele de televiziune care transportă programe color în timp ce se deplasează de la emițător la receptor.

Procesul de reconstrucție holografică necesită ca holograma finită să fie iluminată în același timp prin „citire

fascicule” de la fiecare dintre cele trei lasere – roșu, verde și albastru. Fiecare dintre aceste fascicule ajunge la hologramă la același unghi relativ la care a atins fasciculul de referință corespunzător în timpul fazei de înregistrare. Fiecare dintre cele trei fascicule de referință ajunsese la emulsie în unghiul său unic. În consecință, nu trebuie să existe un conflict între pozițiile celor trei grinzi de reconstrucție în această fază de reconstrucție.

Acum, când un fascicul de citire atinge o hologramă în același unghi cu fasciculul de referință a atins emulsiunea inițială, rezultatul este formarea unui front de undă la fel ca cel al scenei originale. Imaginea acelei scene va apărea exact acolo unde a fost scena. Iată că cele trei imagini virtuale, roșu, verde și albastru – ar trebui să pară să se îmbine – și să apară unui observator ca o singură imagine multicoloră. Așa că ar trebui să apară și unei camere focalizate corect – echipată în acest caz cu peliculă color!

Dar acele vechi obstacole, imagini fantomă sau conjugate? Vor fi trei dintre acestea, sau două, sau chiar unul? Nu trebuie să existe niciuna, pentru că fiecare dintre cele trei înregistrări a fost făcută în modem off-axis sau skew System. În consecință, fiecare dintre cele trei imagini fantomă ar trebui să fie deplasată suficient de departe de imaginea color combinată pentru a nu fi vizibilă atunci când este vizualizată.

Cel mai mare obstacol în calea multiplexării cu succes a frecvenței nu sunt într-adevăr imaginile fantomă, ci sarcina lentă, plictisitoare și extrem de exigentă de a găsi cea mai bună poziționare pentru fiecare dintre cele trei sisteme separate de înregistrare și reconstrucție a culorilor și de a le coordona toate.

Multiplexare spațială. O altă tehnică multicoloră, în anumite privințe și mai complexă, se numește multiplexare spațială. Hologramele formate prin această tehnică evită suprapunerea în cadrul unei singure emulsii a modelelor de interferență pentru fiecare dintre culorile separate utilizate.

O metodă de multiplexare spațială oferă o mască care este plasată

emulsie pe fotografie în timp ce înregistrarea continuă – o mască formată din multe filtre de culoare mici (roșu, verde, albastru). Astfel vor exista zone de emulsie care înregistrează doar informaţii referitoare la imaginea roșie; alte zone sunt limitate la verde; şi încă alţii spre albastru.

Holograma completată devine, de fapt, un fel de mozaic. Cu toate acestea, imaginile formate de fiecare dintre cele trei culori sunt continue, nu fragmentare; pentru toate părțile unei holograme înregistrate difuz conține informații despre toate părțile scenei înregistrate. Micile zone roșii, luate ca grup, furnizează suficientă difracție controlată pentru a reconstrui frontul de undă care formează imaginea roșie; verdele la fel; și albastrul de asemenea.

După ce cele trei expuneri sunt finalizate, masca este îndepărtată, iar placa foto este dezvoltată și fixată cu grijă. Apoi aceeași mască este repoziționată cu cea mai mare precizie. Holograma a devenit acum o „minune mascată”, gata să fie iluminată de cele trei fascicule de reconstrucție sau de citire – roșu, verde și albastru – simultan. Fiecare dintre aceste trei fascicule este direcționat în mod natural către hologramă doar la unghiul luat de fasciculul de referință corespunzător în timpul etapei de înregistrare.

Datorită efectului de filtrare al măștii, fasciculul roșu de citire este împiedicat în mare măsură să treacă prin zonele verzi și albastre; verdele evită zonele roșii și albastre; iar zonele albastre, roșii și verzi. Astfel, lumina roșie reconstruiește informațiile imaginii roșii și așa mai departe. Outeome, în cazul ideal, este o imagine tricoloră. Combinațiile adecvate de culori atât de mult separate în spectru ca roșu, verde și albastru pot crea o fidelitate considerabilă a culorilor în imaginea îmbinată.

Stili alte metode de culoare. Codarea fasciculului de referință este numele dat unei alte metode. Folosește principiul că fasciculul de referință poate fi difuzat sau amestecat în mod deliberat în timpul fazei de înregistrare, dacă doar difuzorul identic este folosit pentru a unserăm-

Eliberați fasciculul de citire în timpul reconstrucției hologramei rezultate.

În această tehnică, scena, odată configurată, este iluminată mai întâi de unul dintre laserele monocromatice - să spunem roșul. Ca de obicei, o mare parte din puterea totală a luminii este deviată în fasciculul de referință care este transmis direct la emulsie. De data aceasta, totuși, fasciculul de referință nu este lăsat pur sau nemodificat. În calea lui este plasată o piate difuză - o piate codificată numai pentru roșu și pentru nicio altă culoare care nu poate fi folosită.

Apoi, când urmează expunerea verde, un alt piat difuzor distinctiv este plasat în fasciculul de referință verde. Același lucru se face atunci când are loc expunerea albastră.

După ce fotoemulsia expusă în mod înalt este dezvoltată și fixată, aceasta este repoziționată și trei fascicule de citire separate - roșu, verde și albastru - sunt îndreptate spre ea, fiecare din unghiul corespunzător. Fiecare, în drum spre hologramă, trece prin propria sa

piață de difuzare potrivită exact în locul potrivit. Fiecare difuzor, după ce și-a codificat mai întâi propria culoare, acum îl decorează.

O altă metodă, și destul de curioasă, de formare a imaginilor color subliniază importanța de bază a unghiului în holografie. Este potrivit doar pentru lucrul cu scene care ocupă un unghi foarte îngust, așa cum este văzut de pe placa foto.

Cele trei culori de lumină laser cele mai potrivite pentru această metodă sunt cele cu diferențele maxime fezabile de lungime de undă, cum ar fi o combinație de roșu, la aproximativ 0,71 microni lungime; galben, la aproximativ 0,58 microni; și albastru, la aproximativ 0,45 microni. Toate cele trei fascicule, emise de lasere separate, sunt combinate într-un singur fascicul mixt, prin intermediul divizoarelor de fascicul care funcționează invers ca combinatori de fascicule.

Acest fascicul tricolor mixt este acum folosit ca și cum ar avea colț de la un singur laser. Este împărțit în două moduri: în fasciculul de referință mai puternic și în fasciculul obiectului mai puțin puternic care iluminează scena sau obiectul îngust. Lumina reflectată de la

atunci obiectul se întâlnește și interferează cu fasciculul de referință, la emulsie. Imaginile fantome sunt generate prin această metodă restrânsă, dar se spune că holografii cu suficientă îndemânare și persistență pot configura echipamentul astfel încât fantomele să rămână în afara regiunii în care apare imaginea multicoloră.

Această metodă poate părea un improvizat în comparație cu tehnicile de culoare mai elaborate și ambițioase descrise anterior. Cu toate acestea, permite o simplitate mai mare atât în etapele de bază - înregistrarea, cât și reconstrucția frontului de undă din holograma rezultată.

Perspective pentru holograme foarte groase. Pentru viitor se pare că cele mai eficiente metode multicolore vor folosi holograme foarte groase, de volum mare, fie formate din emulsii adânci, dar suficient de penetrabile, fie (mai probabil) din alte substanțe reactive la lumină, cum ar fi fotocromiile sau termoplasticele.

O hologramă de volum mare realizată corespunzător devine, de fapt, o rețea de difracție tridimensională extrem de eficientă. Poate funcționa selectiv, atât în ceea ce privește lungimea de undă a luminii utilizate pentru a o reconstrui, cât și unghiul la care o astfel de reconstrucție ajunge la ea. Cu cât substanța sa este mai masivă, cu atât o astfel de hologramă poate fi mai „alegătoare”. Concluzia, susținută pe deplin de ecuații dincolo de scopul acestei cărți, este că cu cât o substanță de înregistrare cu granulație fină este mai groasă, cu atât o fidelitate mai mare a culorilor poate fi obținută, indiferent de tehnica specială folosită pentru a o înscrie cu informații de imagine multicolore.

În comunicațiile moderne, un transmițător eficient este unul care poate pune o proporție foarte mare din puterea sa totală într-o lățime de

bandă foarte îngustă de radiație. Suporturile groase de înregistrare în holografie au și această capacitate căutată de a pune cea mai mare putere luminoasă, prin difracție, în cea mai îngustă lățime de bandă posibilă atunci când formează imaginile finale.

Câteva precauții sunt de obicei observate de holografi

lucrul în zona dificilă a culorii:

(1) Mențin un echilibru atent al culorilor, menținând laserele într-un reglaj precis atât în timpul fazelor de înregistrare, cât și în timpul fazelor de reconstrucție.

(2) Înregistrează lungimile de undă separate (culorile) în secvență. Acestea ar putea fi înregistrate împreună, dar controlul este mai mare atunci când este posibil să se facă teste și ajustări separate atât ale fasciculelor de referință, cât și ale obiectelor pentru fiecare culoare de lumină laser care este utilizată.

(3) Ele reunesc fasciculele de referință și obiecte la unghiuri mari (obtuz, mai degrabă decât mici, acute), unul față de celălalt. Se recomandă ca unghiul real să nu fie mai mic de 100°, iar acesta poate depăși, mergând cât mai aproape de 180°. (Rețineți că un unghi de 180° înseamnă că cele două fascicule, care se deplasează în direcții opuse, ajung la părțile opuse ale aceleiași emulsii.)

(4) Ele înclină planul fotoplăcii sau al altei substanțe de înregistrare a luminii, astfel încât să se afle perpendicular pe linia care bisectează unghiul format între cele două fascicule - fascicule de referință și obiecte. Când se face acest lucru, planurile de interferență formate de grinzi vor fi paralele cu suprafața emulsiei, mai degrabă decât la un anumit unghi declinat față de acea suprafață.

Dacă se produce contracția emulsiei în timpul proceselor de dezvoltare și fixare, se va produce mai puțină distorsiune a imaginii, dacă planurile de interferență sunt paralele cu suprafața emulsiei decât dacă se află la un anumit unghi față de aceasta.

Este posibil ca holografia să fie în mare parte monocromatică, din cauza dificultăților lucrării multicolore și a faptului că principalele câștiguri oferite de holografie pot fi obținute folosind doar imagini monocromatice. Cu toate acestea, chiar și pentru hologramele de tip monocolor, emulsiile groase și alte substanțe groase de înregistrare a luminii oferă superiorități încorporate față de cele subțiri. Acest lucru nu este de mirat, pentru interferența generată în fază.

În ceea ce privește hologramele colorate

Tiparele enee sunt stocate sub formă de modificări moleculare în emulsie sau alte medii de înregistrare. Cu cât sunt mai multe molecule

la îndemână și disponibile pentru a suferi astfel de modificări, cu atât mai multe sunt detaliile și discriminarea pe care o pot furniza pentru procesul de formare a imaginii care urmează.

O concentrare tot mai mare pe holografie. Oamenii de știință și tehnicienii experți acordă o atenție activă numărului tot mai mare de metode și aplicații holografice.

Un bun indice al interesului și activității în orice domeniu al tehnologiei științifice este numărul de lucrări publicate despre aceasta în reviste profesionale importante. Dosarele autorului indică faptul că în primii duzini de ani după ce Dennis Gabor și-a anunțat noul principiu al microscopiei – adică din 1948 până în 1960 – au fost publicate în medie doar patru sau cinci articole și articole pe an. (Acest lucru nu ia în considerare simplele mențiuni în ziare sau reviste de știri.)

Numărul a crescut constant, an de an, de atunci. Totalul pentru 1969 nu ar fi putut fi departe de două sute cincizeci. Este destul de probabil, de fapt, ca în anii 1970 numărul să crească la o medie de aproximativ o hârtie pe zi!

Fiecare adunare de fizicieni optici și specialiști în optică oferă cantități și proporții tot mai mari de timp disponibil pentru lucrări, atât invitate, cât și cu contribuții, despre holografie și tehnici conexe. Serii de prelegeri, simpozioane, ateliere, demonstrații, tururi și discuții informative despre holografie se înmulțesc rapid.

Cea mai mare parte a literaturii de holografie a venit mai întâi din Marea Britanie; apoi în principal din Statele Unite. Au existat, totuși, contribuții substanțiale și continue și din partea Uniunii Sovietice, din Japonia, din Franța și din Germania.

Holografia a avansat în mod repetat în direcții care i-au surprins chiar și pe fondatorii și pionierii săi. Cei mai recenti ani au

continuat şi sporit acest element puternic al romanului şi neaşteptat. De departe, cea mai mare parte a activității actuale de dezvoltare se desfășoară pe linii care cu doar câțiva ani în urmă nu au fost prevăzute și cu greu ar fi putut fi imaginate. Pentru viitorul holografiei, cea mai sigură prognoză pare să fie că aceasta se va dovedi cea mai impresionantă în domenii ale căror caracter și locații nu pot fi acum prezise, darămite descrise cu orice precizie.

Cu siguranță, holografia pare să nu revină niciodată la nivelul unei simple curiozități științifice sau tehnice. Noul principiu de microscopie al lui Dennis Gabor de la sfârșitul anilor 1940 și-a asumat dimensiuni oarecum macroscopice și promite încă să-și mărească domeniul de aplicare.

La fel ca difracția care stă la baza tipului său unic de magie, holografia a oferit o deschidere, determinând ramurile științei optice să diverge unele de altele pe căi distinct diferite.

Imaginile realiste ale hologramei ne-au transformat imaginile mentale despre ceea ce lumina și oscilațiile asemănătoare luminii pot fi induse să facă și cum putem beneficia noi și posteritatea prin aceasta.

INDEX

Aberație, sferică, 54

Film Agfa, 160

Aleksofi, C. C., 150-51

Amplificator, laser, 132

Amplitudine, 25, 82

Unghiuri: de refracție, 16, 17; în difracţie, 36; în holografie, 56, 58, 86, 90, 178

Antenă (radar), 82

Diafragma, 30, 35-36, 75-76, 97

Arago, 43

Lumină arc, 47, 78, 106

Fundal (luminos), 78

Bacterii, dimensiunea, 23

Baez, Albert V., 75 de ani

Benzi, 86; vezi și Franjuri

Fascicule: de lumină, 20, 36-47; de electroni, 52-53; tehnica cu două fascicule, 55

Splitter fascicul, 113-15, 144, 182

„Beats”, 41, 81-82

Holograme blazed, 172-73 Holograme albite, 167-73, 175 Bohr, Niels, 64

Boyle, Robert, 31 Bragg, Lawrence, 65

Briones, Robert A., 126-29

Broglie, de, Louis, 53 Brougham, HP, 42

Val purtătoare, 87

Recunoașterea caracterelor, 153 Refren, analogie pentru coerență, 49 Cifre: vezi Coduri și cifruri Coduri și cifre, 160–63 Coerență și lumină coerentă, 44, 48-49, 50, 57, 70, 71, 75, 80, 181 , 100-01, 105, 107, 109, 114, 124, 129, 133-34, 161-62, 164-66, 173, 176, 178

Colimate (raze de lumină), 73

Culoare: vezi Multicolor

Imagine conjugată, 72, 84, 180 Interferență constructivă, 41, 44, 57,

82

Transparențe de ton continuu, 87 Contouring, 147-49

Raze convergente, 87

Teoria corpusculului luminii, 32

Filtrarea și detectarea corelației, 153

Cristale și structuri cristaline, 65 Cutrona, LJ, 154

Decodificare (holografie), 162-64 „de-difuzare”, 162

Denisyuk, YN, 174

Interferență distructivă, 41, 44, 57, 82

Dezvoltare (fotografii), 10 holograme dielectrice, 172 Undă difractată, 66

Difracție, 28-37, 60, 64, 67-68, 93, 98, 163, 166-68, 170-73, 178, 181, 183, 186; definiții ale, 35; diagrama 61, 70; natură duală a, 77; eficienta, 167-68; microscopie, 70; modele, 56, 65

Rețeaua de difracție, 37

Difuzie, 59, 91-94, 96, 98, 114, 117, 125, 132, 161-64, 166, 181-82

Dispersia, 21-22

Distanțe (în holografie), 72-73 Raze divergente, 87

Drude, Paul, 49 de ani

Durata emisiilor de lumină, 48

Dyson, James, 66 de ani

Eficiența (de difracție), 167-68

Einstein, Albert, 12, 13 ani

Oscilație sau radiație electromagnetică, 65, 81

Electroni și fascicule de electroni, 52-53, 81

Microscop electronic, 52, 76–77

Microscopul electronic, Cartea, 52

El-Sum, HMA, 74, 77-78, 171 Emisia de lumină, 47

Emulsie, fotografie, 11, 75, 85, 87, 93-94, 96, 100, 101, 109, 146, 149, 150-53, 155, 157-59, 160-63, 167-69-167-67, 1 175, 177-79, 180-85; boabe fine, 86

Ennos, AE, 157

Etalon, 105

Euclid, 19, 20, 29, 35

Fabry-Perot etalon, 105

Faraday, Michael, 64 de ani

Femto (prefix), 44

Focalizarea și focalizarea, 10, 18--19, 50, 67-68; adâncimea focalizării, 82

Picături de ceață, 133

Frecvențe, ale luminii, 11; de vibrații, 151

Holograme multiplex de frecvență, 177--78, 180

Fresnel, Augustin, 32, 42-43, 46, 59 Friesem, Albert, 155

Franjuri și modele de franjuri, 28-30, 37, 41, 43, 46-48, 58-59, 80, 89, 90, 100, 138, 140, 142, 145-47, 149; franjuri de ordinul zero, 47

Gabor, Dennis, 10, 22-24, 49, 51-52, 54-58, 76, 84-85, 92, 100, 109, 129, 185-86

„Gaboroscopy”, 76-77

Galileo, 22, 74

„Imagine fantomă”, 61, 66, 84, 180, 183 Sticlă, coroană sau silex, 15-16, 21-22 Goodman, JW, 84

Cereale, finețea, în emulsii, 159 Grimaldi, FM, 28-29, 30-31, 50

Haine Michael E., 66 de ani

Proces semiton, 88 Hertz (unitate), 13 Holocamere, 129

Holograma, 70–71

Holograf, 70 Holografia ca proces în două etape,

77-78

Hooкe, Robert, 31 de ani

Huygens, Christian și lui Huygens

Principie, 24, 27, 31, 33, 51 Combustibili hipergolici, 132

Formarea imaginii și a imaginii, 10, 19,

50, 79-81, 96, 98-99, 100 Imagini: vezi imagini reale și virtuale Emisia de lumină incoerentă, 47 Informații (vizuale sau optice), 11,

79-81

Teoria informației, 26

Infraroșu (radiații), 134

Intensitatea (luminii), 11, 81

Interfață (optică), 16

Interférence, 38, 40-41, 93, 98, 110, 114, 140-42, 144-45, 147, 149-52, 157-59, 167, 169-70, 179-80, 184-85; diagrama, 62, 65, 70; filtre, 174; model, 65, 83

Interferometre și interferometrie, 48, 134-35, 139-40, 142, 146-47

Kirchhof, GR, 64

Kirkpatrick, Paul, 74, 77-78, 171 Kock, WE, 83, 85

Filme Kodak, 160

Lampă sau sursă de lumină, 58, 64, 174

Laser, 47, 80, 88-89, 91-94, 100-01, 105, 109, 111, 113-15, 117-20, 123-25, 127, 129, 132-34, 138, 14, 114 149, 151, 157, 165, 169, 174, 176, 178, 180, 182, 184

Laser, pulsat, 125, 127, 129, 133-34 Rețea, atomică, 54

Leith, Emmett N., 83-91, 93-94, 98, 100, 103, 115, 117-18, 119, 124, 134-35, 147, 171

Lentile și operarea lentilelor, 10, 11, 60, 67-68, 71, 78, 80, 92, 97, 100, 103, 113-15, 132, 157, 164; electrostatic și magnetic, 52, 54

Leonard, Cari, 167

Poarta lichidului, 171-72

Niobat de litiu, 168

Mărire, 21, 23, 53, 62 Cartografiere, prin radar, 82-83 Masere și lasere (carte), 39, 87 Teoria matricei a luminii, 79 Maxwell, JC, 64

Micron (unitate), 14, 158 Microscop, optic, 22, 23; microscop electronic, 52-55

Holografie cu undă de referință modulată, 150

Modulație, 87

Matrite, pentru a duplica holograme, 175 Monocromatice (luminoase), 70, 80, 85,

88, 106, 176-77, 184

Multicolor, 80, 90, 100, 174, 176-84 Conturare cu frecvențe multiple, 148 Conturare cu index multiplu, 148 Holograme multiple, 90 Multiplexare, spațială, 180-81 Mulvey, T., 66

„New microscopie principie”, 51, 55 Newton, Isaac, 31-32

Nod, 135, 138, 177, 179 „Zgomot” (optic), 78, 84, 170-71 Testare nedistructivă, 143

Fascicul de obiect sau unda, 56, 91, 93-94, 113-14, 117, 132, 140, 142, 150-

51, 157-58, 160-63, 178, 182, 184 Holografie în afara axei, 87 Filtrare optică, 153 „Post-corecție optică”, 54 Optical Society of America, 84 Optics de Isaac Newton, 32

Oscilații (de lumină), 13-14, 45, 47

Oscilator, laser, 132

Paralaxă, 103

Părinte, George B., Jr., 133

Creion de lumină, 20

Faza, 11, 40, 44-45, 47, 61, 140, 169-70, 173

Schimbări de fază, 61, 81, 170

Microscop cu contrast de fază, 162

Generat în fază, 185

Material de fotocromie, 155, 158-59, 183

Fotoni, 13

Material fotorezist, 158-59

Optica fizică, 52

Physico Mathesis de Lumine (carte), 28

Optica fiziologică, 52

Puncte de imagine (în formarea imaginii), 79, 80

Planck, Max, 64 de ani

Dispersator de puncte, 71

Poisson, SD, 43, 59

Powell, Robert, 135

Valul primar, 61

Proiector, 67-68

Imagini pseudoscopice, 101, 103-04

Radar, 63, 82, 134; radar coerent, 82; vezi și Radar lateral

Laboratorul Radar și Optică, U. din Michigan, 82

Radio (unde), 49, 81-82, 134

Raze, căi de, 32

Raze (de lumină), 19, 47

Imagine reală, 61, 73-74, 87, 101, Ю3-

04, 117-18, 173

Interferometrie și holografie în timp real, 135, 142-44

Fronturi de undă reconstruite, 77 Reconstrucție (de holograme), 155,

157, 177, 179-82

Redirectori, holografie, 164

Val de referință, sau fascicul, 56, 65, 85,

89, 91-94, 109, 113-15, 117, 120,

132, 140, 142, 144, 150-55, 157-

58, 162-63, 178-84; codificare, 181 Reflecție și holograme care reflectă,

173-75, 177

Refracție și indice de refracție, 15,

16, 18, 21, 37, 52, 148-49, 165,

167, 169-70, 172

Imagini de refracție, 168

Relativitatea, Teoria, 13

Imagini în relief, 168, 172; Vezi si

Holograme transparente

Rezoluție și putere de rezolvare, 22-

23, 54-55, 80

Întârzierea luminii în emulsii,

169-70

Reversibilitate, Regula de, 49, 50

Rogers, Gordon, 66-67, 69, 70-72,

74, 110

Royal Society (Londra), 52

Plăci de împrăștiere (difuzoare), 91

Unde secundare, 26, 31

Zona de umbră, 41

Shadowgram, 75

Radar cu privire laterală, 63, 81-82

Raportul semnal-zgomot, 170-71 Slide, 67 -68; vezi, de asemenea, Transparency Slit, 35, 50; vezi, de asemenea, Aperture S/N Ratio: vezi raportul semnal-zgomot „Snapshots”, în holografie, 165 Soret, JL, 68

Coerență spațială, 88-89; frecventa, 178; multiplexare, 180-81

Filtre spațiale, 144

Viteza luminii și a sunetului, 14 Răspândire, unghiulară, 36

Imagini stereoscopice, 98, 101, 104 Stetson, Cari, 135

Stroboscopic (efect), 140

Stroke, GW, 154

Supertzi, EP, 121 Radar cu deschidere sintetică, 82, 84

Telescop, 21-22

Tuburi de imagine Televisión, 79

Material termoplastic, 158-59, 168, 183

Holograme groase, 183

Thompson, Brian J., 133

Tridimensionalitate, 98, 101, Ю3-05, 110, 113, 115, 117-18, 120, 123, 128-29, 132

Media de timp (holograme), 135, 138-39, 140, 150, 153

Time-lapse, 135, 140-41, 143 Timpul (durata) emisiei luminii,

47

Timpul călătoriei (lumină), 18, 44, 57; a undelor radar, 81-82

Transparență (diapozitiv), 56, 60, 85, 89 Holograme transparente, 172-73 Tehnica cu două fascicule, 55

Lumină ultravioletă, 23

Upatneiks, Juris, 84-91, 93-94, 98, 100, 103, 111-15, 117, 124, 134-35, 147, 167, 171, 174

Vander Lugt, BA, 88, 154

Viteza luminii (r), 14

Vibrație, 76

Imagine virtuală, 61, 73-74, 87, 101, 117-18, 126, 163, 173, 180

Virus, dimensiunea, 23

Tensiune, 53

Wallack, John, 141

Apă, valuri pe, 25, 40-43

Unde, electromagnetice, 34, 151; cu ultrasunete, 151-52

Frontul de val, 25-26, 93, 96, 106, 133, 142, 154, 161, 165, 167, 169, 180-81

Reconstituirea frontului de val, 84, 90, 98, 100, 106, 117, 141-42, 151, 157, 162, 167, 183-84

Val, reconstruit, 52, 63, 66

Val, referință: vezi Val de referință sau fascicul

Lungimea de undă, a luminii, 11, 45-46, 57, 62, 64, 76, 105-07, 110, 133, 138, 145-46, 149, 169-70, 174-79, 182-84; de fascicule de electroni, 53

Wavelets, secundar, 26, 31

Fotografii cu val, 174

Tren de valuri (de lumină), 45, 47 Holograme cu lumină albă, 174, 177 Williams, L, 58

Wuerker, Ralph F., 125-26, 129

Xérografie materiale, 158

Raze X, 34, 65, 76

Microscop cu raze X (Bragg), 65

Young, Thomas, 32, 38-47

Microscop Zernicke, 162

Placă de zonă, 68-69, 71, 83, 86. 97, 100

(continuare! de la clapeta din față)

flux de mare viteză, descărcări și explozii, așa cum fotografia obișnuită nu ar putea face niciodată.

Acest nou fenomen al științei optice este explicat aici, de la fundalul și începuturile sale până la direcțiile și limitele viitorului său, într-o introducere lucidă și fascinantă în holografie.

H. ARTHUR KLEIN sa născut în Manhattan și a trăit pentru scurt timp în Nebraska și Europa înainte ca familia sa să se stabilească în California de Sud. S-a specializat în limba engleză la Universitatea Stanford și a primit o diplomă de master în arte de la Occidental College din Los Angeles.

Dl. Klein a lucrat la Londra și Berlin ca reporter și scriitor pentru servicii de știri timp de câțiva ani, apoi s-a întors în Statele Unite pentru a lucra ca publicist, scriitor și profesor de colegiu. Acum se dedică cu normă întreagă scrierii și este un membru activ al Asociației Naționale a Scriitorilor de Științe. Celelalte cărți ale domnului Klein din seria INTRODUCERE ȘTIINȚA MODERNĂ includ Masere și Lasere, Pile de Combustie și Bioluminiscență. El este și autorul cărții Surfing.

Familia Klein locuiește pe plaja din Malibu, California.

COMPANIA JB LIPPICOTT

Cărți bune din 1792

Philadelphia și New York

Design de jachetă de Nicholas Krenitsky

Cărțile din /ntroduang Modem Science se referă la noile descoperiri științifice care schimbă totul, de la rachete până la cercetarea medicală. Am să ofer informații de bază despre aceste noi domenii ale științei, să discutăm despre utilizările practice ale descoperirilor și să provoc cititorul să continue cercetări.

ABIOGENESI

De la Molécule la CelIs de Paul D. Thompson

BIOLUMINESCENCE de H. Arthur Klein

CRISTALELE

de Raymond A. Wohlrabe

CURBE ȘI AUTOMATIZARE

Complotul oamenilor de știință

de Jesse D i Ison

ECOLOGIE

Habitate, nișe și lanțuri alimentare de Janet Nickelsburg

EXCURSIUNI ÎN CHIMIE de John H. Woodburn

CELULE DE COMBUSTIBIL

de H. Arthur Klein

FORŢE FIZICE FUNDAMENTALE de Raymond A. Wohlrabe

GAZE ȘI PLASME de Paul D. Thompson

FIZICA ENERGIEI ÎNALTE de Hai Hellman

HOLOGRAFIE

de H. Arthur Klein

MASERE ŞI LASER

de H. Arthur Klein

METALELE

de Raymond A. Wohlrabe

MOLECULE ÎN SERVICIUL OMULUI de AH Drummond, Jr.

NOUA GRAVITAȚIE

Cheia pentru energii incredibile

de H. Arthur Klein

OCEANE ŞI CONTINENTE ÎN MIŞCARE de H. Arthur Klein

DESPRE COMPORTAMENT

Instinctul este o pisică Cheshire

de Peter H. Klopfer

ȚĂMÂNUL VIRUSULUI

ШIЯIIИ 0397311222 11.07.2016 16:48-3

22

ISBN-0-397-31122-2